12 | 59e jaargang

NATUUR '91 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

ZONNEDAUW

NOBELPRIJZEN: NATUURKUNDE/FYSIOLOGIE/SCHEIKUNDE
NATUURKRACHTEN/DODE-ZEEROLLEN/LUCHTSPIEGELINGEN

LIST-MEDICAL
WEST-GERMANY

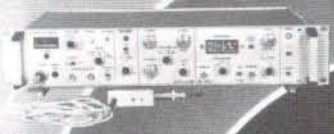
PCT

Patch-Clamp Tower

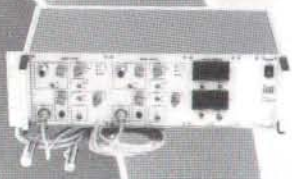
(Workstation: i.e. for Patch-Clamp-Experiments)

Patch Clamp Pipette Puller L/M-3P-A

Gate Unit L/M-GPP-3

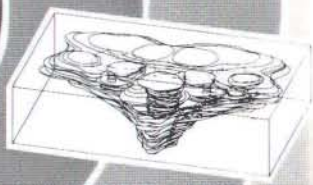


Extracellular Patch Clamp Amplifier L/M-EPC-7
(also: for whole cell clamping)



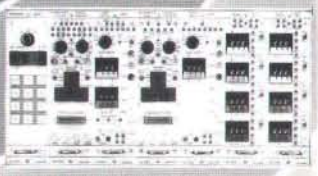
Electrometer L/M-PR-20
(2-channel unit)

Pipette Forge With Integrated Coating & Polishing System L/M-CPZ-101

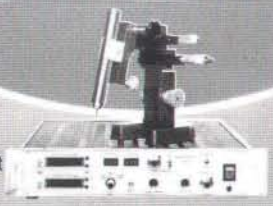


Histol 3D-Reconstruction Program

The Nanostepper
High precision positioning of microelectrodes for intracellular and patch-clamp measurements. Provides vibration-free movement with high accuracy.



The New HG 300/500 Series
Programmable pulse and function generators



LIST-MEDICAL
WEST-GERMANY

Contact us now for complete details:

List-electronic

Pfungstaedter Strasse 18-20
D-6100 Darmstadt/Eberstadt, West Germany
Phone (06151) 5 60 00 + 5 60 60

In the U.S.A. contact:

ADAMS & LIST ASSOCIATES, LTD.

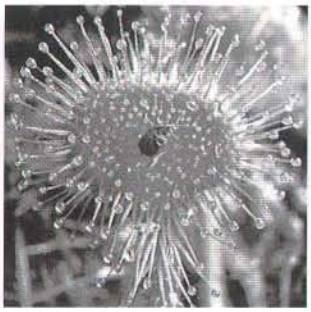
Scientific Instruments for Basic Research
High-Tech Bldg. 239 Great Neck Road, Great Neck,
NY 11021 USA Tel. (516) 482-0808

Sales-Representatives in most countries.

NATUUR '91 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 11,75 of 230 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

Zonnedauw is een vleesetende plant die uitsluitend voorkomt op voedselarme bodems, meestal in het veen. De glinsterende druppels op de tentakels van de plant zijn voor de meeste insekten even aanlokkelijk als dodelijk. Toch profiteert zonnedauw niet altijd zelf van een prooi, zoals u kunt lezen op pag 932 e.v. Enkele kleine veenbewoners eten graag een hapje mee.
(Foto: Wijlen dr Coen Postma te Bussum)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.
Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.
Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek, Drs E.J. Vermeulen.
Redactiesecretariaat: Drs L.P.J. Slangen.
Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 0(0-31)4759-1305.
Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Dr W.A. Casparie, Drs G.P.Th. Kloeg, A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.
Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. van der Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israël, Drs J.A. Jasperse, Prof dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Prof dr A.F.J. van Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluyser, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.
De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur & Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, D. Gorissen, J. Pohlen.
Druk: VALKENBURG OFFSET BV, Echt (L.).

Redactie en administratie zijn te bereiken op:
Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Voor België: Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel. Tel.: 0(0-31)43 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur). Fax: 0(0-31)43 216124.

Voor nieuwe abonnementen: 0(0-31)43 254044
(tot 20.30 uur, óók in het weekend).

EURO ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECHNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO CIENTIFÍCO (E), met de steun van de Commissie van de EG.

notu vak

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikatie in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

Een uitgave van ISSN 0028-1093

Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

INHOUD

ACTUEEL IV

AUTEURS VIII

HOOFDARTIKEL/Feest 883

ANALYSE & KATALYSE/De prijs der prijzen/
De achterkant van de Nobelprijs 884

HERSENSPINSELS 896

Nobelprijs natuurkunde 1991

J.M.J. van Leeuwen

De Nobelprijs voor de natuurkunde is dit jaar toegekend aan Pierre-Gilles de Gennes, verbonden aan het Collège de France in Parijs. Hij krijgt de prijs voor het werk waarmee hij het wanorderlijk gedrag van vloeibare kristallen en polymeren heeft verklaard.

SIGNAAL PER KANAAL 904

Nobelprijs fysiologie 1991

R.C. Peters en H.P.M. Vijverberg

De winnaars van de Nobelprijs fysiologie 1991, Erwin Neher en Bert Sakmann, verfijnden de techniek voor het meten van stromen door celmembranen zozeer, dat zij zelfs de stroompjes door individuele ionenkanalen konden meten.

MEERVOUDIG METEN 912

Nobelprijs scheikunde 1991

R. Kaptein

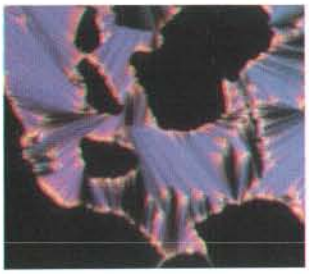
Een chemisch laboratorium is niet meer denkbaar zonder één of meerdere NMR-spectrometers. Bij de ontwikkeling van de NMR-spectroscopie heeft de Zwitser Richard Ernst de laatste vijfentwintig jaar een bijzondere rol gespeeld.

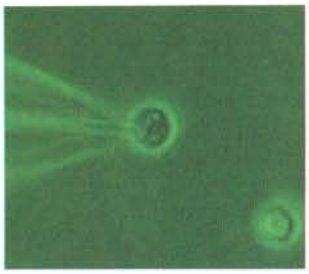
DE DODE-ZEEROLLEN 920

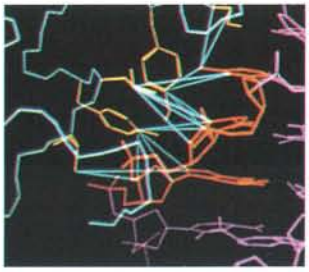
Bericht uit Jezus' tijd

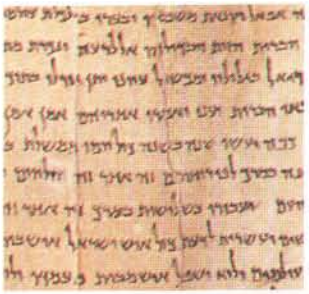
A.S. van der Woude

In 1947 verklaarde mijn hoogleraar bijbelse archeologie op zijn colleges dat er in Palestina nooit oude handschriften zouden worden ontdekt. Het klimaat was er niet naar. Rollen uit het begin van onze jaartelling zouden al lang zijn vergaan. Als je dus in Palestina 'oude' handschriften kreeg aangeboden, moest je er op rekenen dat zij de vorige dag waren geschreven. De professor kon niet vermoeden dat er in datzelfde jaar in een grot bij Qumrân documenten van voor Jezus' tijd zouden worden gevonden.



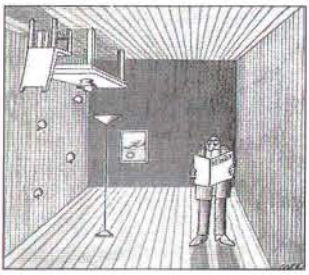






NATUUR '91 & TECHNIEK

december/59e jaargang 1991



KIJK OP WETENSCHAP

Zwaartekracht en elektromagnetisme

Christine Sutton

Ons universum bestaat uit atomaire deeltjes. Vier soorten wisselwerkingen houden die deeltjes bij elkaar. Natuurkundigen kunnen met twee van die interacties, de zwaartekracht en de elektromagnetische kracht, de wereld om ons heen beschrijven. Wat zijn de verschillen tussen deze krachten, en wat hebben ze met elkaar gemeen?

ZONNEDAUW 932

Vleeseter beroofd

Martin Thum

Lijkt het in de biologie al de omgekeerde wereld wanneer planten dieren eten, mieren draaien de rollen nog een keer om. Zij belagen de kleverige bladeren van de vleesetende plant zonnedauw, om die een zojuist gevangen buit afhandig te maken. Er zwerft een dwergcicade door veengebieden die nog ingewikkeldere toeren uithaalt. Dit insekt leeft op de onderkant van zonnedauwbladeren, net buiten het bereik van de dodelijke tentakels en veilig voor vijanden, zoals roofzuchtige wespen of insektenetende vogels. Daar tapt het de sapstroom van de plant af.

SPIEGELEN IN KOUDE LUCHT 940

Willem Barentsz en het Monster van Loch Ness

C. Floor

Tijdens hun overwintering op Nova Zembla in 1597 zagen enkele deelnemers aan Willem Barentsz' tocht om de Noord de zon aan de horizon verschijnen op 24 januari. Dat was precies twee weken vóór het einde van de poolnacht. Gerrit de Veer beschreef het verschijnsel dat zich herhaalde op 27 en 31 januari. Bij zijn behouden thuiskomst ondervond De Veer veel kritiek op zijn waarnemingen en ook in later eeuwen hechtten onderzoekers niet veel geloof aan het verslag. Normaal gesproken zou de zon zich – vooral op de eerste waarnemingsdatum – ver onder de horizon moeten bevinden.

ACTUEEL/BOEKEN 950

SIMULATICA/Kerststerren 952

INHOUD 1991 955

PRIJSVRAAG 962

Golfslagkracht

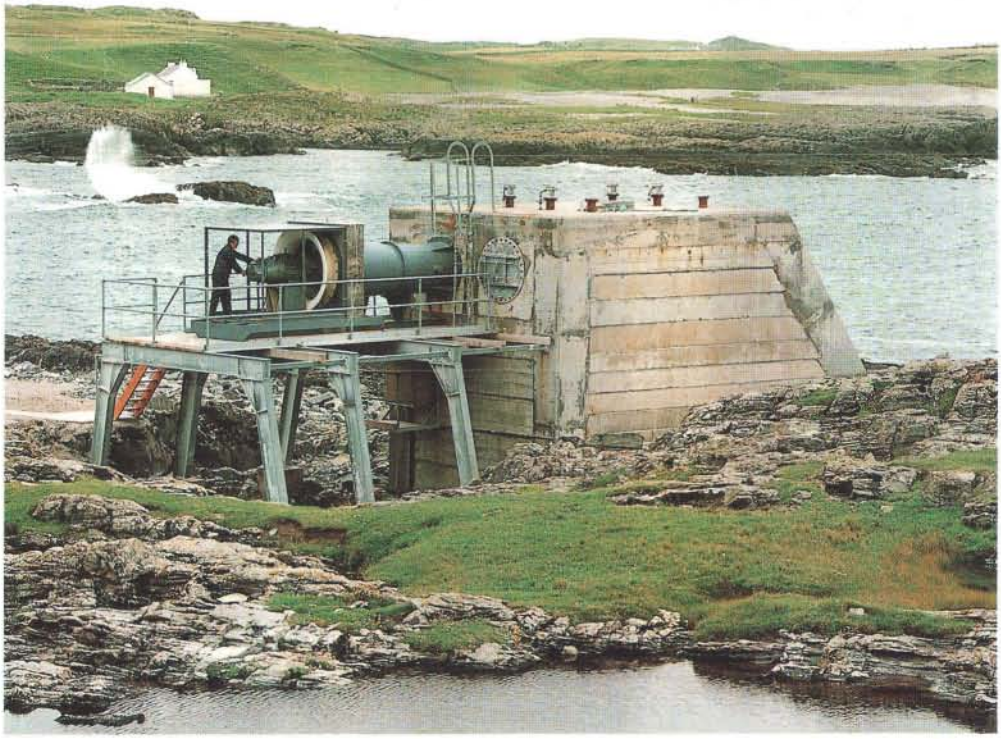
Onderzoekers van de Queen's University in Belfast hebben een nieuwe elektriciteitscentrale gebouwd. Het eerste exemplaar is aangelegd op het eiland Islay, ten westen van Schotland. Deze kustcentrale zou elektriciteit net zo goedkoop moeten produceren als een waterkrachtcentrale in een stuwdam. Hij is zeer economisch te bouwen en is, in tegenstelling tot golfcentrales op zee, gemakkelijk toegankelijk voor onderhoud. Tenminste, als het niet heel hard stormt.

De centrale is gebouwd langs een smalle, rotsige geul, waarin de golven van de branding omhoog worden gestuwd. De betonnen achterwand en de zijwanden van de centrale rusten op de zeebodem. Onder de voorwand bevindt zich een opening. De voorwand is zo ontworpen, dat de opening zich ook bij eb enkele meters onder het wateroppervlak bevindt. Als een golf zeewater de geul in stroomt, duwt hij water via de opening in de betonnen ruimte. De lucht in die ruimte wordt daardoor samengeperst en kan de ruimte alleen maar via een turbine verlaten. Als het golfpeil in de geul weer daalt, komt er via de turbine weer lucht de ruimte in.

Waarschijnlijk zijn er genoeg plekken aan de Schotse kust waar dit soort centrales kan worden gebouwd. Volgens de bouwers produceert de golfslagcentrale op Islay onder wisselende weersomstandigheden gemiddeld 36 kW. Dat is voldoende om een naburig dorpje van stroom te voorzien. De huidige kosten van de golfslagelektriciteit zijn circa *f* 0,23 of 4 F per kilowattuur. Als de investeringskosten van de centrale op Islay eenmaal zijn terugverdiend, kan dit echter dalen tot zo'n *f* 0,07 of 1,30 F.

(Persbericht Britse ambassade, 's-Gravenhage)

De bedrijfsleider controleert de turbine van de Schotse golfslagcentrale. (Foto: London Pictures Service)



Stoorlicht in Nederland

Verlichting bij duisternis heeft zonder twijfel zijn nut; maar vaak komt het licht terecht op plaatsen waar het niet hoort en dat levert storing op. Er zijn allerlei bezwaren tegen stoorlicht; zo heft het de duisternis op die van nature bij de nacht hoort, en deze verdwijnt soms helemaal. In de Randstad is het nooit meer donker! Deze 'vervuiling' treedt op als een soort lichtsluier die zich uitstrekt over steden, industriegebieden of broeikassen.

Wie heeft er last van dit stoorlicht? Allereerst de astronomen. De meeste waarnemingen voor de beroepsastronomie verricht men in grote, vaak internationale, observatoria. Vaak staan die observatoria bovenop een afgelegen berg in de subtropen. Toch kunnen de astronomen daar last hebben van stoorlicht. Erger is het voor de amateur-astronomen, die een belangrijke plaats innemen in de astronomische wereld. Ze verrichten hun waarnemingen meestal niet zo ver van huis, en hebben dan sterke hinder van het stoorlicht in hun woonomgeving. Andere categorieën zijn de natuurliefhebbers en de mensen die 'gewoon' van de nacht willen genieten. Soms brengt het stoorlicht ook het levensritme van dieren en planten in de war. En tenslotte is er in enkele gevallen een schadelijk effect van stoorlicht op het gebied van de volksgezondheid geconstateerd.

Gelukkig wordt de laatste tijd meer aandacht besteed aan het verschijnsel. Net zo goed als lawaai en stank vormt stoorlicht een aanslag op het milieu. Natuurliefhebbers en amateur-astronomen hebben het voortouw genomen; milieubeschermers volgden, en de overheid en het bedrijfsleven beginnen het bezwaar in te zien.

Er is nog geen beleid opgesteld dat de problemen van het stoorlicht aanpakt. Voor een goed beleid is meer nodig. Het is noodzakelijk dat bekend is waar het stoorlicht 'woedt', wat de oorzaken ervan zijn en hoe de storing over het land is verdeeld. Kortom, we hebben een stoorlichtkaart nodig, een zonekaart, net zoals er zonekaarten bestaan voor lawaai, voor stank, en voor de uitstoot van zwavel en stikstof.

We zullen hier een plan ontvouwen om een dergelijke stoorlichtkaart voor Nederland op te stellen; het hangt mede van de lezers van Natuur & Techniek af of dit plan kan lukken. Het idee is ontleend aan een initiatief van het ministerie van milieu uit Japan. Plannen bestaan om het in een aantal andere landen na te volgen.

De opzet is heel eenvoudig: op een groot aantal plaatsen maken vrijwilligers eenvoudige dia's. De gewone camera, gevuld met een normale diafilm, richten ze daarbij recht omhoog. Een sterrenkundige meet de dia's vervolgens door; de verhouding van de 'zwarting' van bekende sterren en die van de hemel is een maat voor het stoorlicht. Als er maar genoeg dia's zijn, gemaakt op voldoende plaatsen en liefst gelijkmatig over het land verdeeld, dan kan de sterrenkundige de zonekaart samenstellen.

Wat wordt er nu van de lezers van Natuur & Techniek verwacht? Iedereen die mee wil doen zoekt een plaats in de buurt van zijn of haar woonplaats uit waar die de dia's zal nemen. De plaats hoeft maar aan één voorwaarde te voldoen: directe, rechtstreekse lichtinstraling van alle lampen uit de buurt (straatlantaarns, sportvelden, lichtreclames) moet worden afgeschermd.

In de periode tussen 27 januari en 7 februari 1992 (rondom nieuwe maan) richt u tussen 21.00 uur en middernacht de camera op een statief recht omhoog. Wanneer er heel veel wolken zijn of wanneer de maan schijnt, is het natuurlijk van belang om een ander tijdstip te kiezen. De camera kan vrij simpel zijn; een kleinbeeldcamera met een lens van 50 a 55 mm brandpuntsafstand en een opening van f:2,0. De gebruikte film is een 400 ASA Fujichrome diafilm. Het diafragma stelt u in op 4. Vervolgens neemt u een paar dia's, met belichtingstijden van 80 en 120 seconden. De film wordt normaal ontwikkeld.

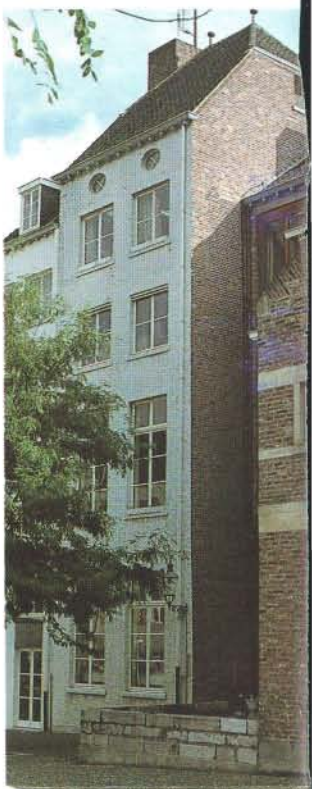
Het is van belang om precies te weten wanneer en waar de dia's zijn genomen; vergeet niet uw naam en adres, de plaats waar en het tijdstip waarop de dia's zijn genomen en de belichtingstijd duidelijk te vermelden. Ook wordt u verzocht te vermelden in welk tijdschrift u deze oproep heeft gelezen.

De dia's moet u opsturen naar Stichting de Koepel, Sterrenwacht Sonneborgh, Zonnenburg 2, 3512 NL Utrecht (tel. 030 - 311 360), die voor de verwerking zorgdraagt. Het doormeten van de dia's gebeurt onder leiding van de universiteit van Leiden. De Nederlandse Vereniging voor Weer-en Sterrenkunde NVWS en de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSvV staan volledig achter deze plannen.

We verwachten dat de resultaten van deze actie zal leiden tot een duidelijke stellingname van de Nederlandse overheid, niet alleen wat betreft het milieubeleid, maar ook wat betreft het vergunningenbeleid van Rijk, Provincie en Gemeenten voor de aanleg en het gebruik van buitenverlichting. Eén ding moeten we niet vergeten: stoorlicht is verspild licht; er is energie voor gebruikt, er is geld voor betaald en het wordt weggegooid.

Dr ir D.A. Schreuder.

MEDEDELINGEN
aan onze abonnees



DE NIEUWE JAARGANG 1992

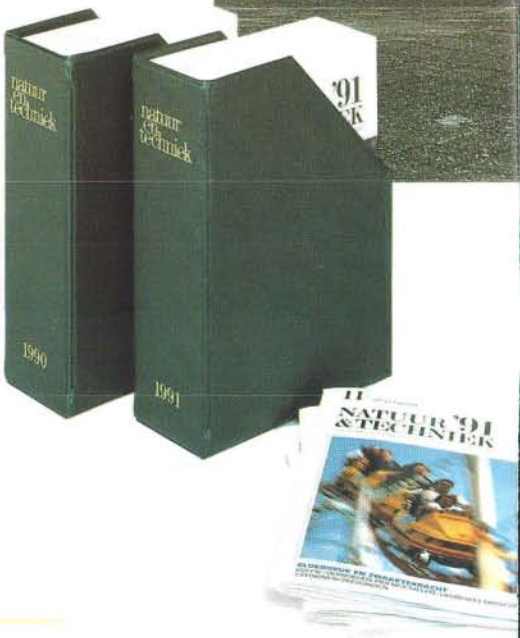
Met het volgende nummer begint een nieuwe jaargang van Natuur & Techniek. De prijs voor een jaarabonnement van 12 nummers bedraagt voor 1992 ƒ 125,- of 2450 F, voor studenten ƒ 95,- of 1860 F. In februari ontvangt u een voorbedrukt overschrijvingsformulier waarmee u het abonnementsgeld kunt voldoen. Wij verzoeken u vriendelijk uitsluitend op deze manier te betalen. Abonnementen op NATUUR & TECHNIEK worden genoteerd tot schriftelijke opzegging. Verlenging vindt automatisch plaats, tenzij het abonnement uiterlijk op 15 december van het voorafgaande jaar is opgezegd.

EEN **ABONNEMENT** VOOR **DRIE** JAREN

Tevens wijzen wij u erop dat het ook mogelijk is een drie-jaarlijks abonnement te nemen. U profiteert dan van een aanzienlijke korting: ƒ 320,- of 6275 F (in plaats van ƒ 375,- of 7350 F).
Bent u geïnteresseerd, belt u dan even onze abonnementenafdeling in Maastricht:
0(0-31)43 - 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur).

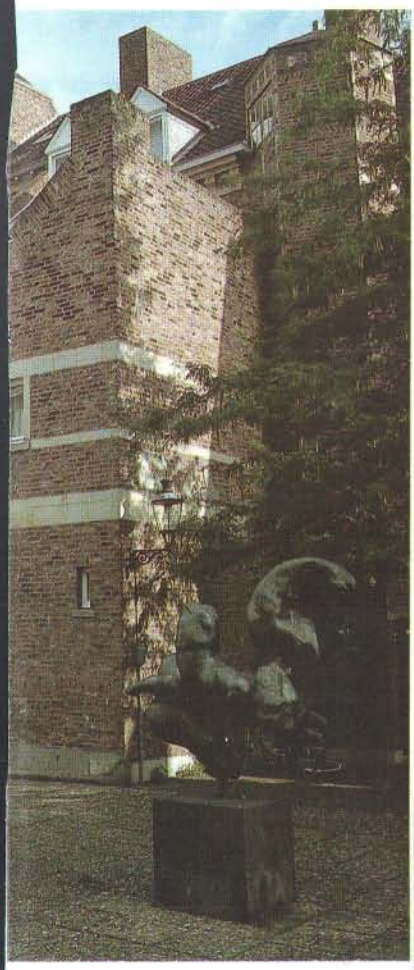
HET **BEWAREN** WAARD

Voor het bewaren van volledige jaargangen van NATUUR & TECHNIEK zijn speciale cassettes verkrijgbaar. De prijs van deze in groen kunstleer met goudopdruk uitgevoerde cassettes is ƒ 15,- of 295 F (exclusief verzendkosten). Eveneens in februari 1992 ontvangt u een overschrijvingsformulier waarmee u één of meer cassettes kunt bestellen, voor de nieuwe jaargang en voor de jaargangen vanaf 1979. Voor oudere jaargangen zijn cassettes zonder jaartalopdruk verkrijgbaar. Binnen vier weken na ontvangst van uw storting zenden wij u de bestelde cassette(s).



TREFWOORDENREGISTER 1991

Vanaf maart 1992 is het trefwoordenregister voor 1991 verkrijgbaar. Dit wordt automatisch meegeleverd bij bestelling van de opbergcassette voor 1991 of 1992, maar is ook los te bestellen tegen betaling van de verzendkosten. De index voor 1991 vindt u achterin dit nummer.



De historische panden (midden en links) waarin Natuur & Techniek gevestigd is, liggen aan het plein 'Op de Thermen', boven de grondvesten van een Romeins badhuis, in het centrum van Maastricht.

60 JAAR INFORMATIEVOORZIENING

De komende jaargang van Natuur & Techniek staat in het teken van ons 60-jarige jubileum. Zestig jaren van revolutionaire ontwikkelingen - aanvankelijk vooral in de fysische wetenschappen, maar in toenemende mate ook in de biologische wetenschappen. Zestig jaar lang heeft Natuur & Techniek u op de hoogte gehouden van wat er zich afspeelde aan het front van de wetenschap. En we hopen dat nog vele jaren te doen - boeiend, beeldend en betrouwbaar.

Wat u mag verwachten
In het eerste nummer van de nieuwe jaargang willen wij kort enkele hoogtepunten uit dit nabije verleden belichten, onder andere met een bijdrage van de minister van onderwijs en wetenschappen. Verder besteden wij in dat nummer ook aandacht aan zes bijzondere onderwerpen; u vindt ze achter in dit nummer vermeld.

Tevens kunt u blijven rekenen op de vaste rubriek van professor Hans Lauwerier met computersimulaties voor uw eigen PC, evenals een rubriek onder redactie van ir. Simon Rozendaal over de rol van de wetenschap in onze samenleving.

Kijk op Wetenschap voor de komende jaargang:

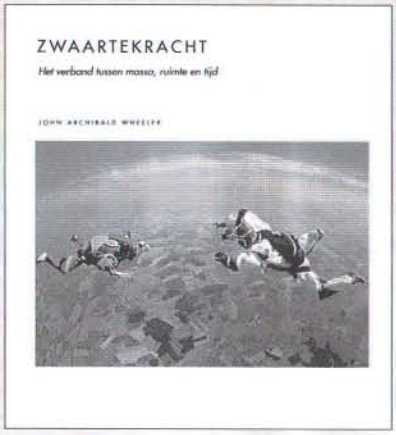
januari 1992:
katalyse
februari 1992:
elektro-magnetisme
maart 1992:
bestrijding van plagen
oktober 1992:
de speciale relativiteitstheorie
november 1992:
kleurstoffen
december 1992:
ionenkanalen in de cel

DE 'STUDIEKATERN' KIJK OP WETENSCHAP

In de komende jaargang kunt u weer zes 'studiekaternen' verwachten. Deze bevinden zich in het hart van Natuur & Techniek. Ze worden gemaakt in samenwerking met de New Scientist en geven in acht pagina's een bondig en helder overzicht van een bepaalde thematiek uit wetenschap of technologie. De teksten en illustraties zijn gemaakt voor scholing en bijscholing, voor inzicht en overzicht. Vandaar de titel van deze serie: "Kijk op Wetenschap".

Het **nieuwste** boek uit
de Wetenschappelijke Bibliotheek

ZWAARTEKRACHT



Het verband tussen massa, ruimte en tijd
John Archibald Wheeler, Princeton University

Zwaartekracht bepaalt de beweging van de planeten, het ritme van de getijden, het vallen van een blad en het uitdijen van het heelal. Enkele van de grootste geesten in de geschiedenis van de natuurwetenschappen - van Newton tot Einstein - hebben hun leven aan deze kracht gewijd.
In dit boek verkent de bij uitstek deskundige fysicus John Archibald Wheeler de geometrische zwaartekrachttheorie van Einstein en laat deze los op zowel alledaagse als ongewone verschijnselen - inclusief zwaartekrachtsgolven uit exploderende sterren en het ontstaan van zwarte gaten. Vele concepten die tot op heden vaak achter ingewikkelde wiskunde verscholen gingen, worden door Wheelers vermaarde voorstellingsvermogen helder en inzichtelijk.

Dit is deel 26 uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek: 264 pagina's met 155 afbeeldingen in vierkleurendruk. ISBN 90 73035 090

Prijs: *f* 74,50 of 1460 F.
Voor abonnees van Natuur & Techniek:
f 59,50 of 1165 F.
Voor leden van de Wetenschappelijke Bibliotheek:
f 49,75 of 975 F.

Informatie en bestellingen tot 16.30 uur:
0(0-31)43.254044

Prof dr J.M.J. van Leeuwen ('Natuurkunde') werd in 1932 geboren. Hij studeerde natuurkunde aan de Universiteit van Amsterdam en promoveerde in 1962. Tot 1969 was hij verbonden aan de KU Nijmegen. In die tijd verbleef hij veelvuldig aan Amerikaanse universiteiten. In 1969 werd hij hoogleraar aan de TH Delft en in 1986 volgde zijn benoeming tot hoogleraar aan de RU Leiden.

Dr R.C. Peters ('Fysiologie') werd in 1942 geboren. Hij studeerde biologie in Utrecht en promoveerde cum laude in 1974. Sinds 1963 vervulde hij diverse aanstellingen aan de RU Utrecht, thans is hij er universitair hoofddocent. Peters werkte onder meer op het psychologisch laboratorium in Cambridge, Engeland, en was gasthoogleraar in het Oostenrijkse Salzburg.

Dr H.P.M. Vijverberg ('Fysiologie') werd in 1952 in Naaldwijk geboren. Hij studeerde biologie met natuurkunde in Utrecht, waar hij in 1982 promoveerde. Daarna werkte hij een jaar bij het Centre de Biochimie (CNRS) te Nice. Sinds eind 1983 is hij hoofd van de sector Neurotoxicologie van het Research Instituut Toxicologie (RITOX) van de RU Utrecht.

Prof dr R. Kaptein ('Scheikunde') studeerde scheikunde in Leiden en promoveerde in 1971. Hij werkte een jaar bij Varian in Palo Alto, VS, en drie jaar bij het Koninklijke Shell Laboratorium. In 1975 trad hij in dienst van de RU Groningen, waar hij in 1980 hoogleraar werd. Sinds 1987 is hij hoogleraar NMR-spectroscopie in Utrecht. Kaptein werd in 1941 in Den Haag geboren.

Prof dr A.S. van der Woude ('Dode-Zeerollen') is in 1927 geboren. Hij studeerde theologie en Semitische letteren in Groningen en promoveerde in 1957. Hij was hervormd predikant tot in 1960 aan de Groningse universiteit zijn benoeming volgde tot hoogleraar in de oudtestamentische vakken en de literatuur en geschiedenis van de intertestamentaire periode.

Dr M. Thum ('Zonnedauw') werd op 28 januari 1956 in het Beierse Kaufbeuren geboren. Hij studeerde biologie aan de Ludwig-Maximilian-universiteit in München, waar hij in 1988 promoveerde. Thum is vakredacteur natuur bij Prisma-Verlag in München en free-lance journalist.

Drs C. Floor ('Luchtspiegelingen') is in 1947 in Wageningen geboren. Hij studeerde fysische meteorologie in Utrecht. Floor was werkzaam bij de Stichting Opleiding Leraren en bij de vakgroep Natuurkundedidactiek van de RU Utrecht. Sinds 1981 werkt hij bij het KNMI in De Bilt, waar hij hoofd is van het bureau Meteorologische Vakopleidingen.

Feest

Zoals elk jaar is ook het nummer van deze met feestdagen volgepropte maand voor een belangrijk deel gewijd aan het jaarlijkse wetenschapsfeestje bij uitstek: de toekenning van de Nobelprijzen. Deze keer vinden we, behalve de gebruikelijke artikelen waarin wordt uiteengezet waarom de prijzen voor natuurkunde, scheikunde en fysiologie/geneeskunde dit jaar aan deze winnaars zijn toegekend, ook enkele bijdragen over de achtergronden van de prijs der prijzen.
Daaruit komt onder andere naar voren, dat de prijs zo belangrijk is geworden doordat er met de oorspronkelijke opzet volgens Nobels testament nogal is gesjoemeld. Nobel had de prijs bedoeld als stimulans voor onderzoekers die in het afgelopen jaar opvallend goed werk hadden geleverd. Dat afgelopen jaar is nogal gerekt. Soms wordt de prijs uitgereikt voor werk dat al decennia geleden is gedaan. Een gevolg daarvan is, dat de laureaten vaak hun creatiefste periode achter de rug hebben als ze de prijs krijgen. Ze zijn dan ook vaak al 'gepromoveerd' naar meer organisatorische functies. Bovendien schept de Nobelprijs vele tijdrovende verplichtingen.
Toch is er waarschijnlijk geen prijs die zo stimulerend op de wetenchapsbeoefening heeft gewerkt als juist deze. Elke eerstejaars student met onderzoeksaspiraties droomt ervan de prijs te zullen krijgen. Zoals honderdduizenden elke keer weer hun tientjes naar de sigarenwinkel brengen in de hoop één keer de hoofdprijs in de Staatsloterij te winnen, zo blijven onderzoekers hardnekkig doortobben, natuurlijk niet voortdurend denkend aan de Nobelprijs, maar toch wel met op de verre achtergrond altijd de vage hoop op een Nobelwaardige doorbraak. Bovendien heeft de prijs veel publiciteit als bijverschijnsel, en die is in de loop van de jaren bijvoorbeeld de financiering van het onderzoek zeer ten goede gekomen.
Natuurlijk is het waar dat er veel meer onderzoekers voor de prijs in aanmerking komen dan er kunnen worden beloond. Dat is niet leuk voor degenen die de prijs niet krijgen, maar dat geldt voor elke prijs. Bovendien is er in de wereld een soort aparte stand van Nobelprijswaardige onderzoekers. Of ze de prijs nu echt krijgen of niet, iedereen in hun vak weet dat ze hem verdiend hebben. De Nobelprijs is niet een willekeurige beloning, het is een standaard voor een bepaalde kwaliteit waaraan niet alleen de winnaars voldoen. Het is zelfs zo ongeveer *de* standaard, en ook op die manier werkt de prijs stimulerend.
Het is ook juist dat de prijs veelal aan de leider van een team wordt toegekend, terwijl het werk door het hele team is uitgevoerd. En het komt ook voor dat teamleiders zich wel heel sterk het werk van anderen toeëigenen door als coauteur van alle publikaties op te treden, ook al is hun bijdrage beperkt tot het lezen van het manuscript. Maar zulke teamleiders krijgen zelden of nooit de prijs. En is het idee voor een onderzoek niet vaak van meer belang dan de uitvoering? Het is misschien niet alles goud wat er blinkt, maar het gehalte eraan is hoog.

DE PRIJS DER PRIJZ

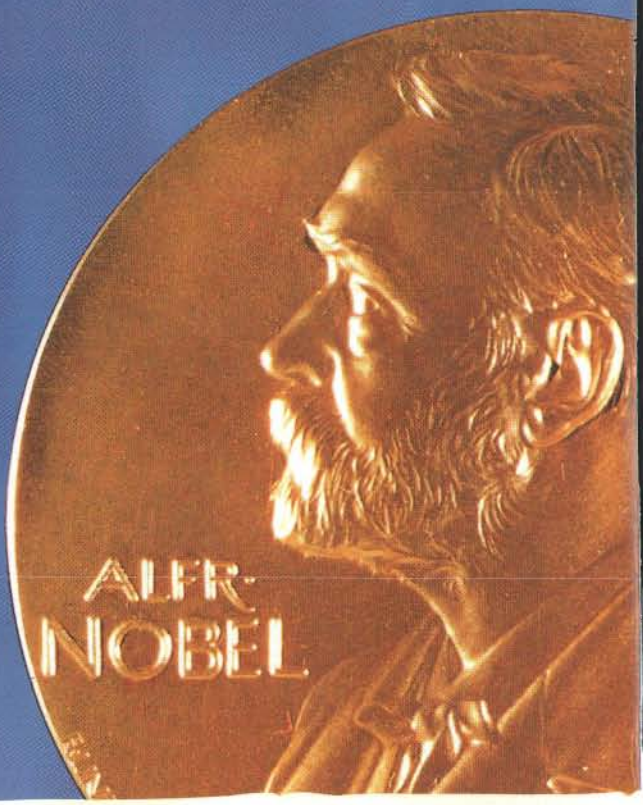
"De wereld is vol mensen die

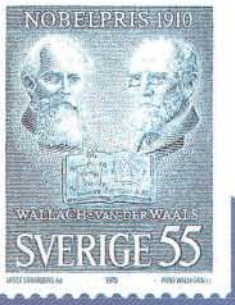
de Nobelprijs zouden moeten krijgen,

maar haar niet hebben gekregen

en niet zullen krijgen"

Paul Wouters





EN ANALYSE & KATALYSE

integratie van wetenschap en technologie in de samenleving

De Nobelprijs is de meest vooraanstaande wetenschappelijke onderscheiding. Wie de prijs uit Stockholm wint, is niet meer één van de vele ploeteraars in een laboratorium, maar verkeert plotsklaps in de ijle, hemelse sferen van absolute wijsheid, hypercreativiteit en ware kennis. Hij – en een enkele zij, er zijn schandalig weinig vrouwen gelauwerd – is dan ook publiek eigendom en wordt bedolven onder bergen post met lucratieve aanbiedingen en lastige vragen. Zijn mening heeft het gewicht van een Salomonsoordeel, waar het ook over gaat. Het bedrijf dat een Nobelprijswinnaar als commissaris weet te strikken, heeft een belangrijk concurrentievoordeel in de wacht gesleept.

UIT DE STATUTEN

De bepaling in het testament dat de jaarlijkse toekenning van prijzen bedoeld zal zijn voor werken "gedurende het voorafgaande jaar" zal als volgt worden opgevat: de prijzen zullen worden toegekend voor de meest recente prestaties op de gebieden waarnaar verwezen wordt in het testament en voor oudere werken indien de waarde ervan pas onlangs duidelijk is geworden.

Het prestige van de Nobelprijswinnaar strekt zich ook uit tot de wetenschappelijke gemeenschap zelf. De uitverkorene kan het zich niet meer veroorloven op een wetenschappelijk congres een domme vraag te stellen. Daar staat tegenover dat hij nooit meer in het gangpad hoeft te zitten. De toekenning van de Nobelprijs lijkt nog het meest op de middeleeuwse heiligverklaring.

Het belangrijkste verschil? De Nobelprijs wordt slechts aan levende wetenschappers toegekend; de gelovigen uit de Middeleeuwen moesten morsdood zijn.

Alfred Nobel (1833-1896), de statenloze miljonair die bij testament in 1895 de basis legde voor de naar hem genoemde prijs, kan deze taferelen niet hebben verwacht. Hij deed uiteindelijk niets meer dan het instellen van vijf prijzen: drie voor de belangrijkste ontdekking of uitvinding in de natuurkunde, de scheikunde en de fysiologie of medicijnen; een vierde voor het meest vooraanstaande werk 'met een idealistische inslag' in de literatuur en een vijfde prijs voor degene die het meest heeft bijgedragen aan de verbroedering der naties en de vrede (zie Testament). Het werk waarvoor een van deze prijzen werd toegekend, moest in het voorafgaande jaar zijn gedaan.

Nobel bepaalde tenslotte ook wie de prijzen moest toekennen. Zijn keuze viel op twee academies, een onderwijsinstelling en een parlement. De Zweedse Academie van Wetenschappen kent sindsdien de natuur- en scheikundeprijs toe, de Academie van Literatuur de literaire, het chirurgische Karolinska-instituut die voor fysiologie of medicijnen, en de Noorse Storting de vredesprijs.

Geen salaris en pensioen

Het toekennen van prijzen was in Nobels tijd niet ongewoon. De Londense Royal Society en de Franse Acade-

mie van Wetenschappen hadden al een rijke prijzentraditie, mogelijk gemaakt door donaties van gefortuneerde sympathisanten. Vanaf 1719 organiseerden de Fransen een jaarlijkse prijzencompetitie na een gift van graaf De Meslay. In 1744 nam de Berlijnse Academie dat idee over en wist de grootste geesten uit die tijd tot de arena te verlokken. Euler, Lagrange, d'Alembert, Concordet, Kant en Rousseau behoorden tot de deelnemers.
Het was aantrekkelijk voor de wetenschappers uit de achttiende en negentiende eeuw om in deze wedstrijden mee te dingen. Wetenschappelijk werk was nog geen beroep met salaris en pensioen, het geld was dus welkom om van te leven en onderzoek mee te financieren. Bovendien verzekerde deelname de geleerde van een geïnteresseerd publiek. Een van de beroemdste prijzenslagen vond plaats in 1819, toen de diffractie van licht het thema was voor de Franse *Grand prix des sciences mathémathique.* Fresnel won de prijs met zijn golftheorie over het licht en bracht de doodssteek toe aan de Newtoniaanse deeltjestheorie. Nobel sloot aan bij deze, vooral in Frankrijk sterk ontwikkelde, prijzentraditie.
Ook het feit dat een rijke burgerman de wetenschap wilde ondersteunen, was niet zo uitzonderlijk. De patroons van het experimentele onderzoek hoefden geen blauw bloed meer te hebben. Een toenemend aantal vermogende kooplieden en industriëlen met gevoel voor beschaving wilde financiële steun verlenen aan de kunsten en de wetenschap. Zo is ook de Amsterdamse dierentuin *Natura Artis Magistra* ontstaan.
Het instellen van de Nobelprijs was dus geen uiting van wroeging van de uitvinder van het dynamiet, zoals een van de vele mythen ons wil doen geloven. Nobel deed wat deel was van de zeden en gewoonten van de geciviliseerde burger. Tijdens zijn leven was hij zelfs bepaald niet vrijgevig. Noemenswaardige donaties bleven beperkt tot twee giften van vijftigduizend kronen (uit zijn moeders erfenis) aan het Karolinska-instituut en een kinderziekenhuis en steun aan twee ontdekkingsreizen naar het Noordpoolgebied. Dan was de ongeveer even rijke Fransman Daniel Iffla, die zijn vermogen naliet aan het Instituut Pasteur, veel genereuzer: deze stelde met een donatie van één miljoen franken de *Prix Osiris* in, deed veel aan bedeling voor zieken en ouderen, steunde Franse schoolkinderen die goed hun best deden en restaureerde kastelen.

HET TESTAMENT

"Met het geheel van mijn realiseerbare nalatenschap zal het volgende geschieden: het kapitaal dat door mijn executeurs-testamentair is geïnvesteerd in solide fondsen zal in een stichting worden ondergebracht; de rente van dit kapitaal zal vervolgens jaarlijks worden uitgekeerd in de vorm van prijzen aan diegenen die gedurende het voorafgaande jaar het grootste nut hebben verschaft aan de mensheid. Het bovengenoemde kapitaal zal worden verdeeld in vijf gelijke delen die als volgt zullen worden toebedeeld: een deel aan de persoon die de belangrijkste ontdekking of uitvinding heeft gedaan op het gebied van de natuurkunde; een deel aan de persoon die de belangrijkste ontdekking heeft gedaan op het gebied van de scheikunde; een deel aan de persoon die de belangrijkste ontdekking heeft gedaan op het gebied van de fysiologie of de geneeskunde; een deel aan de persoon die het meest opmerkelijke werk met een idealistische tendens op het gebied van de letterkunde heeft geproduceerd; een deel aan de persoon die het meeste of het beste heeft bijgedragen aan de broederschap tussen naties, aan de afschaffing of reductie van bestaande legers en aan het houden of bevorderen van vredesconferenties. De prijzen voor natuurkunde en scheikunde zullen worden toegekend door de Zweedse Academie van Wetenschappen, die voor fysiologie of geneeskunde door het Karolinska-instituut te Stockholm, die voor letterkunde door de Academie in Stockholm en die voor vrede door een comité van vijf personen, te benoemen door de Noorse volksvertegenwoordiging. Het is mijn uitdrukkelijke wens dat bij het toekennen van de prijzen de nationaliteit van de kandidaat geen enkele rol zal spelen. De beste kandidaat zal de prijs ontvangen, ook al is hij geen Scandinaviër."

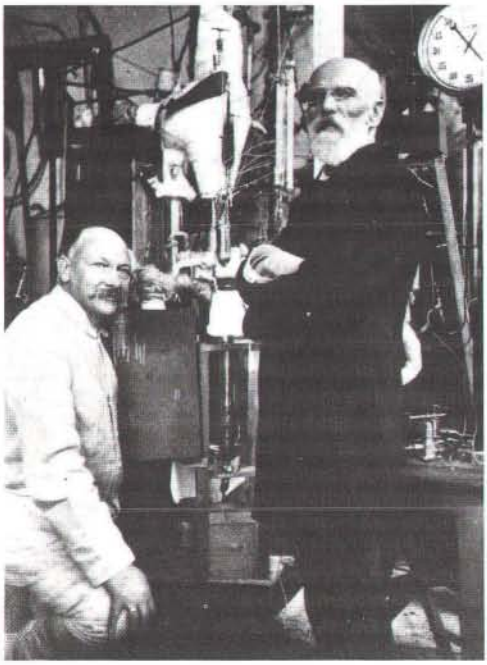
Dr Alfred Bernhard Nobel
Parijs, 27 november 1895

Zweden als Olympia

Toch kent iedereen de Nobelprijs en weet niemand wie 'monsieur Osiris' is. De oorzaken: drie beslissingen van Nobel plus de *couleur locale* van het Zweden uit het begin van deze eeuw.

Het testament van Nobel maakte onmiddellijk grote indruk door het enorme bedrag dat in één keer 'aan de wetenschap' werd gegeven. Elke Nobelprijs was dertig keer zo groot als het jaarlijkse salaris van een hoogleraar. De *Nya Dagligt Allehanda*, die Nobels testament op 2 januari 1897 als eerste publiceerde, bejubelde het als "waarschijnlijk het indrukwekkendste in zijn soort die een privé-persoon ooit wilde of kon maken". Nobels rijkdom verzekerde een wijdverbreide publiciteit, vooral in de populaire pers.
De tweede beslissing die zou bijdragen tot de faam van de Nobelprijs was haar internationale karakter. Nobel onderstreepte in zijn testament dat de nationaliteit van de kandidaten er niet toe deed. Slechts bekwaamheid mocht tellen. Daarmee onderscheidde zijn initiatief zich van de prijzen en erelidmaatschappen van de wetenschappelijke academies. Hoezeer zij ook internationale contacten onderhielden en over en weer lidmaatschappen uitwisselden, de academies van wetenschappen waren nationaal. De medailles van de Royal Society bleven Engels, zoals de prijzen van de Parijse Academie hun Franse karakter behielden. Nobels kosmopolitisme was nieuw. Paradoxaal genoeg werd dat in de Zweedse pers uitbundig gevierd als een gift aan de Zweedse natie. Het *Svenska Dagbladet* zag Zweden al als "het moderne Olympia", waar de grootste geesten van de wereld zich met elkaar maten.
De belissing van Nobel die de toekomst van de prijs het sterkst zou bepalen, was echter het passeren van zijn familie. Zijn neefjes Hjalmar en Emmanuel en hun verwanten ontvingen slechts één miljoen van de meer dan dertig miljoen kronen die Nobels bezittingen waard waren. Belangrijker was dat zij bovendien niets te zeggen kregen over de uitvoering van het testament. Nobel benoemde zijn persoonlijke assistent Ragnar Sohlman, een vijfentwintigjarige Zweedse ingenieur, samen met de ingenieur-zakenman Rudolf Lilljeqvist tot executeurs testamentair. Daarmee verzekerde hij zich van daadkrachtige vertegenwoordigers na zijn dood.

Het instellen van de Nobelprijs was géén uiting van wroeging van de uitvinder van het dynamiet, zoals een van de vele mythen ons wil doen geloven



Kamerlingh Onnes (zittend) kreeg in 1913 de Nobelprijs voor de natuurkunde, drie jaar na Van der Waals (staand). De prijs viel in zijn begintijd opmerkelijk veel Nederlanders ten deel. (foto: Kamerlingh Onnes-laboratorium, Leiden)

In zijn memoires merkte Sohlman later ironisch op dat zijn benoeming eigenlijk de enige duidelijke beslissing was in Nobels testament. De rest bestond immers slechts uit vage plannen over prijzen die nog niet bestonden, uit te reiken door academies die nog nergens van wisten. En Nobel had niet eens de Zweedse nationaliteit!

Loven en bieden

De harde strijd die onmiddellijk na het openen van Nobels testament ontbrandde, heeft de structuur van het Nobelinstituut bepaald. De koninklijke prijsuitreiking in Stockholm, het recht van de Nobelprijswinnaars om kandidaten te stellen, de vertrouwelijke afhandeling van de kandidaatstelling, het zijn inmiddels

vertrouwde kanten van de Nobelprijs. We zijn geneigd om ze toe te schrijven aan het universele en eerbiedwaardige karakter van de wetenschappelijke roeping. Zo zijn ze echter niet ontstaan. De vormgeving van de Nobelprijs is eerder het produkt van Zweedse conflicten dan van de universele rede.

De koning van Zweden speelt een belangrijke rol omdat Sohlman en Lilljeqvist zich van de medewerking van de Zweedse regering moesten verzekeren. Nobel moest postuum de Zweedse nationaliteit terugkrijgen, zodat zijn familie niet de kans kreeg het testament bij Franse rechtbanken aan te vechten. Bovendien zou de prijs daarmee een nationaal karakter krijgen, waar alle Zweden zich achter konden scharen. Dat zou ook helpen om de nog zeer onzekere medewerking van de academies te krijgen. Als die weigerden, ging het hele plan immers niet door. En daar speelde Nobels familie op in. Die probeerde het op een akkoordje te gooien met functionarissen van de Zweedse Academie van Wetenschappen en het Karolinska-instituut. De rector van het laatste, professor Key, had daar wel oren naar. Hij steunde het idee de familie de zeggenschap over de gehele nalatenschap te geven, als zij als tegenprestatie 25 miljoen van de 30 miljoen kronen ter beschikking van de wetenschappelijke instituten stelde. Key zag de "prachtige kanselarijen en bibliotheken", die ieder prijscomité zeker nodig zou hebben, al voor zich.

Kortom: het loven en bieden was begonnen. Elk instituut poogde zoveel mogelijk in de wacht te slepen. Het voorstel van de executeurs testamentair om vijf procent van het prijzengeld aan onkosten te besteden, werd beantwoord met de eis van de Academie en het Karolinska-instituut dat het vijfentwintig procent moest zijn. Er werd geredetwist over de bestemming van eventuele niet uitgekeerde prijzen. En uiteraard over de zeggenschap in de toekomstige Nobelstichting.

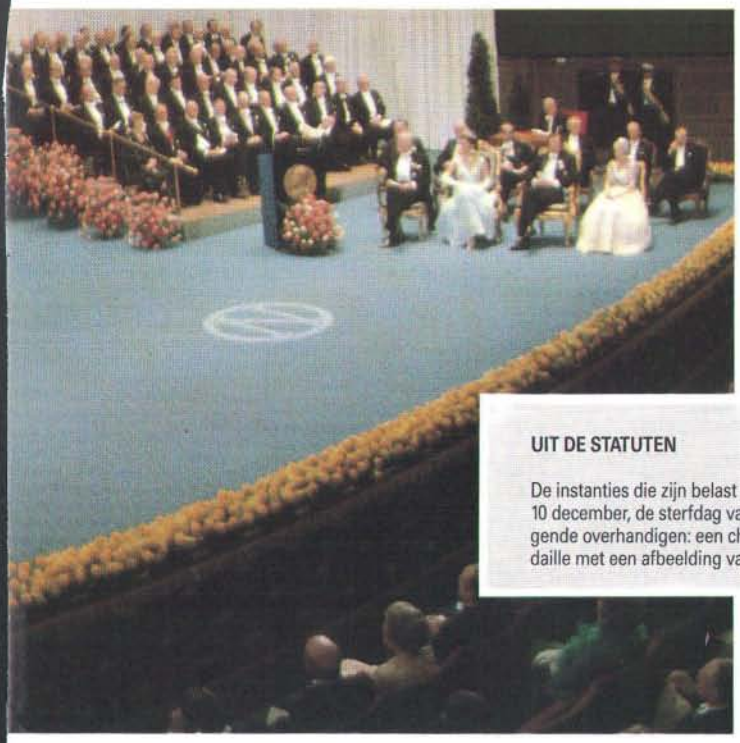
Nobels vertegenwoordigers trokken uiteindelijk aan het langste eind. Nadat de Noorse Storting had beslist de vredesprijs toe te willen kennen, koos de Zweedse regering de kant van Sohlman. De Academie van Wetenschappen ging vervolgens dwarsliggen, maar die weerstand werd overwonnen via informele onderhandelingen, waar de belangrijkste voorstanders van de Nobelprijs in de Academie aan deelnamen. Bovendien werd de Russische tak van de Nobelfamilie, waar neef Emmanuel de scepter zwaaide, in het kamp van de executeurs testamentair gehaald. In ruil daarvoor kreeg deze de definitieve zeggenschap over Nobels oliemaatschappij in Baku. Tenslotte gaf ook de Zweedse Nobeltak toe, na anderhalf miljoen kronen extra te hebben geïncasseerd.

In het begin negeerde *Science* de Nobelprijs. *Nature* publiceerde slechts korte samenvattingen

De overwinning van Sohlman en zijn medestanders werd vergemakkelijkt door hun contacten met de groep onderzoekers rond Svante Arrhenius. Deze was in Zweden nog omstreden, maar internationaal al befaamd vanwege zijn theorie over elektrolyten. Hij was niet eens lid van de Academie van Wetenschappen. Arrhenius zag in Nobels testament een unieke kans het wat stoffige wetenschappelijk establishment in zijn land grondig te hervormen en de contacten met de internationale onderzoekers aan te halen. Het uitnodigen van buitenlandse onderzoekers om kandidaten voor de Nobelprijs te noemen, nu vast onderdeel van de Nobelrite, was Arrhenius' manier om dit te bevorderen.

Het radiumavontuur

Zo had de Nobelprijs al vóór de eerste prijsuitreiking grotendeels vorm gekregen. Alleen het prestige ontbrak de eerste jaren nog. De Nobelprijs sprak het grote publiek wel aan, maar die aandacht



den met de officiële biografieën van de wetenschappers, maar wilden zij ze zelf spreken. De faam van de Nobelprijs was in één klap gevestigd, op een wijze waar de internationale wetenschappelijke gemeenschap niet om heen zou kunnen. De Nobelprijs slaagde erin om het prestige van een reeks wetenschappers in zich op te nemen en zo de kardinale prijs te worden.

UIT DE STATUTEN

De instanties die zijn belast met het toekennen van de prijs zullen op 10 december, de sterfdag van Nobel, aan iedere prijswinnaar het volgende overhandigen: een cheque, een diploma en een gouden medaille met een afbeelding van Nobel en een toepasselijke inscriptie.

ging grotendeels naar de prijs voor de vrede. De wetenschappelijke gemeenschap was bovendien sceptisch. *Nature* publiceerde slechts korte samenvattingen van de prijsaankondigingen, *Science* negeerde ze. De buitenlandse onderzoekers reageerden slechts sporadisch op de uitnodiging kandidaten voor de prijs voor te dragen. Zelfs de eerste Nobelprijswinnaars hadden het in een enquête van *Svenska Dagbladet* alleen over het geld, niet over de exclusiviteit van de prijs. Die bestond nog niet.

De Nobelprijs heeft deze weerstand overwonnen door wetenschappers te bekronen die in de wetenschappelijke gemeenschap al wijd en zijd befaamd waren. Niet de Nobelprijs had prestige, maar de winnaar. Door een consequent volgehouden beleid om giganten van de wetenschap de prijs toe te kennen, wisten de Nobelcomités de prijs zélf begerenswaardig te maken. Daartoe moesten ze de aanwijzing van Nobel geweld aandoen dat de ontdekking uit "het voorafgaande jaar" diende te stammen. De eerste prijzen werden zelfs toegekend voor wetenschappelijk werk van de voorafgaande eeuw.

De definitieve doorbraak kwam met de toekenning van de Nobelprijs aan Madame Curie. Zij kreeg de prijs voor de natuurkunde in 1903 — samen met haar man Pierre en met Henri Becquerel voor hun ontdekking van de radioactiviteit. Een volkomen onverwachte vloedgolf van publiciteit overspoelde de Curies. Het grote publiek ontdekte in radium 'het avontuur der wetenschap' en voor het eerst waren journalisten niet tevre-

Nobelprijswinnaars zijn nu de kardinalen van de wetenschap. De toekenning van de prijs is jaarlijks terugkerende propaganda voor het wetenschapsbedrijf, een feest (met schaduwzijden) voor de uitverkorenen, een bron van frustratie voor de opnieuw niet-verkozen kandidaten. Wat Nobel bedoeld had als een bron van steun voor jonge, veelbelovende maar arme onderzoekers, werd al vanaf het begin een bekroning van wetenschappers die hun sporen ruimschoots hadden verdiend. De prijs wordt simpelweg niet toegekend aan onbekende genieën. De Nobelcomités maken hun keuze uit de groep zeer goede onderzoekers.

Nobelprijswinnaars hebben dan ook een aantal eigenschappen gemeen. Ze beginnen al op jonge leeftijd te publiceren en zijn beduidend produktiever dan hun leeftijdgenoten. Hun werk wordt in het algemeen vaker geciteerd. Nobelprijswinnaars zijn ten-

slotte duidelijk beter opgeleid dan hun minder opvallende collega's. Ze komen vaker van de elite-universiteiten en zijn gemiddeld actiever in het kiezen van hun leermeesters. Het overgrote deel van de Nobelprijswinnaars is opgeleid door Nobelprijswinnaars of onderzoekers van vergelijkbare eminentie. En de meeste winnaars hebben vóór hun onderscheiding in Stockholm al het nodige wetenschappelijke prijzengeld in de wacht gesleept.

Biologie en sterrenkunde?

Sinds Nobel is wetenschap een grote bedrijfstak geworden, de prijs is echter hetzelfde gebleven. Onderzoek wordt tegenwoordig massaal gefinancierd door overheden en bedrijven en is bovendien veel kostbaarder geworden. Dat is niet het enige. Ontdekkingen zijn in steeds grotere mate het produkt van samenwerking in onderzoeksgroepen. Het individuele karakter van de prijs botst daarmee en heeft zelfs binnen goed functionerende teams al voor prioriteitsconflicten gezorgd.

van de prijs aan de Nederlander Niko Tinbergen en de Oostenrijkers Lorenz en Von Frisch voor hun onderzoek van diergedrag. Aan sterrenkunde gaf Nobel evenmin prioriteit, met als gevolg dat de astrofysica pas laat met een Nobelprijs werd bedeeld. De enige uitbreiding sinds Nobel was een initiatief van de Zweedse Bank, die vanaf

vol mensen die de Nobelprijs zouden moeten krijgen, maar haar niet hebben gekregen en niet zullen krijgen".
Een enkele keer wordt een omissie officieel betreurd, zoals in het geval van de molekulair bioloog Avery, die met McCarthy en MacLeod demonstreerde dat DNA het erfelijk materiaal is. Hoe de kwaliteit van onderzoek ook

Marie Curie was een bijzondere Nobelprijswinnaar. Zij was vrouw èn ontving de prijs twee keer: in 1903 voor de natuurkunde en in 1911 voor de scheikunde.

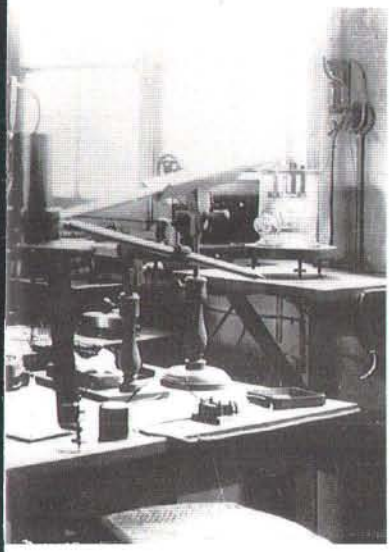
Met Madame Curie kwam de definitieve doorbraak van de Nobelprijs

Niet het minste probleem is de groei van het aantal wetenschappelijke specialismen. Nobels belangstelling was die van de verlichte laat-negentiende-eeuwse ingenieur. Sociale wetenschap en filosofie kwamen uiteraard niet in aanmerking voor steun, maar ook wiskunde mist node een Nobelprijs. De biologie is in de formulering 'fysiologie of medicijnen' onduidelijk vertegenwoordigd. Dat veranderde pas in 1973 met de toekenning

1969 een Nobelprijs voor de economie toekent.
Al zou het aantal Nobelprijzen verdrievoudigd zijn, de groei van het aantal wetenschapsbeoefenaren was niet bij te houden. Een groeiend aantal toponderzoekers staat 'op de wachtlijst'. En niet de minsten. Mendelejev heeft de Nobelprijs bijvoorbeeld niet gehad en wat is chemie zonder het periodiek systeem? Arne Tiselius, kenner van de Nobelrite, zei het zo: "De wereld is

wordt gemeten, er is geen merkbaar verschil tussen degenen die de Nobelprijs wél en zij die haar net niét hebben gekregen. Soms wordt een niet-winnaar dan ook voor een winnaar aangezien, zoals de ontdekker van de spin van het elektron Samuel Goudsmit overkwam. De Nobelprijs is niet dé maat voor de kwaliteit van het onderzoek.
Sterker, de prijs heeft een negatieve uitwerking. Geheel in tegenstelling tot de bedoeling van Nobel, daalt de gemiddelde produktiviteit van de Nobelprijswinnaar merkbaar na toekenning van de prijs. De gelukkige publiceert nog altijd

meer dan de gemiddelde wetenschapsbeoefenaar, maar in de grafiek van de persoonlijke produktie is een duidelijke inzinking te zien. De oorzaak ligt voor de hand: de Nobelprijswinnaar wordt bedolven onder de uitnodigingen vooral iets anders te doen dan onderzoek. Nobelprijswinnaar Francis Crick bedacht een standaardantwoord:



Dr Crick dankt u voor uw brief, maar betreurt dat hij niet in staat is om uw uitnodiging te accepteren om:
een handtekening te sturen
een foto te sturen
uw ziekte te genezen
te worden geïnterviewd
voor de radio te spreken
op TV te verschijnen
te spreken na het diner
een getuigenis af te geven
u in uw project te helpen
uw manuscript te lezen
een lezing te geven
een conferentie bij te wonen
als voorzitter te fungeren
redacteur te worden
een boek te schrijven
een eretitel te accepteren

DE ACHTERKANT VAN DE NOBELPRIJS

Simon Rozendaal

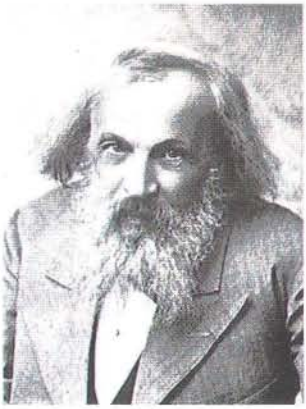
Gesprekken met laureaten, bijna-winnaars en wetenschapsmensen die de prijs vervloeken

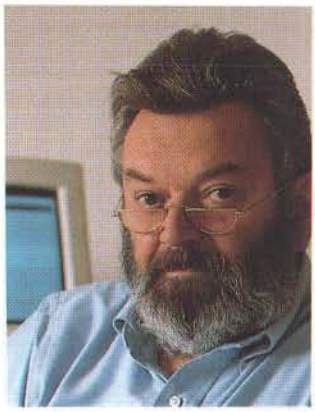
Zo op het eerste gezicht lijkt de Nobelprijs een schitterende uitvinding. Het is goed voor de wetenschap, aardig voor de maatschappij en leuk voor de mensen die een prijs krijgen. Om met de laatsten, de laureaten, te beginnen: zij ontvangen een niet onaardig bedrag. In 1901 was aan de Nobelprijs 150 800 Zweedse kronen verbonden. Tot aan 1960 bleef dat ongeveer zo, daarna is het snel omhoog gegaan. In 1989 bedroeg de prijs drie miljoen Zweedse kronen (een miljoen gulden ofwel achttien miljoen frank). De regelmatige verhogingen van de prijs (aanpassingen aan de inflatie) zijn mogelijk omdat er verstandig met de erfenis van Alfred Nobel wordt omgesprongen. Sinds 1987 bijvoorbeeld is de Nobelstichting, die ondermeer nogal wat bezit aan onroerend goed van Nobel en uit schenkingen van allerlei mensen, aan de beurs van Stockholm genoteerd. Zo wordt de prijzenpot met geld van beleggers aangevuld. Oorspronkelijk had Alfred Nobel zo'n dertig miljoen kronen bijeengegaard, maar dat was aan het eind van de jaren tachtig al tot ruim 750 miljoen vermeerderd.

Wat doen onderzoekers met hun prijzengeld? De Zwitser Karl Alex Müller was een paar dagen nadat hij in 1987 van zijn prijs op de hoogte was gesteld, van plan de som heel prozaïsch te besteden. "Ik heb het er met mijn vrouw over gehad. We zitten bij een Zwitserse bank en daar zat mijn vader ook en mijn grootvader ook en mijn zoon, die tandarts is, ook. We hebben dus maar besloten om die bank te vertrouwen. Bovendien wil ik nog wat hypotheek op mijn huis aflossen. Een normale Zwitserse houding nietwaar?"

Soms valt het prijzengeld, als alle festiviteiten voorbij zijn, een tikje tegen. De Nederlandse Amerikaan Nico Bloembergen moest in 1981 de prijs, die toen hoognodig aan opwaardering toe was, met twee andere fysici delen en hield 45 000 dollar over. In 1986, vijf jaar later, wees hij erop dat een behoorlijk bedrag aan de prijs zelf opgaat. "Mijn kinderen kwamen rond de prijsuitreiking tien dagen

naar Stockholm. Daar zijn we uit eten geweest en hebben natuurlijk kleren gekocht." Daarmee was al een kwart weg. De rest heeft Bloembergen belegd en gebruikt hij om met zijn vrouw af en toe leuke reizen te maken.
Opvallend vaak wordt de Nobelprijs besteed om te reizen. De Japanner Kenichi Fukui (Nobelprijs chemie 1981) zei in juni 1982 dat hij de dikke zevenhonderdvijftigduizend kronen van zijn gedeelde prijs wilde gebruiken om samen met zijn vrouw allerlei leuke plekjes die hij in de loop van zijn carrière (toen zijn vrouw thuis moest blijven) bezocht had, opnieuw te bezoeken. De Nobelprijs als aflaat voor huiselijke schuldgevoelens.
De prijs geeft een laureaat een aureool. Een Nobelprijswinnaar wordt anders bejegend. Door zijn collega's, door de media, door de taxichauffeur, door zijn echtgenote, door zijn werkgever. Die werkgever is er zelf ook uiterst trots op. Een Nobelprijswinnaar geeft een bedrijf cachet, zelfs al werkt die er lang niet meer. Het farmaceutische bedrijf Smith, Kline en Beecham beroemt zich nog steeds op de kwaliteit van het fundamenteel wetenschappelijk onderzoek: daar hebben 'we' in het verleden een Nobelprijs voor gehad. De man die het bekroonde werk (de eerste stof die receptoren van cellen blokkeert) had verricht, James Black, werkt al lang elders.

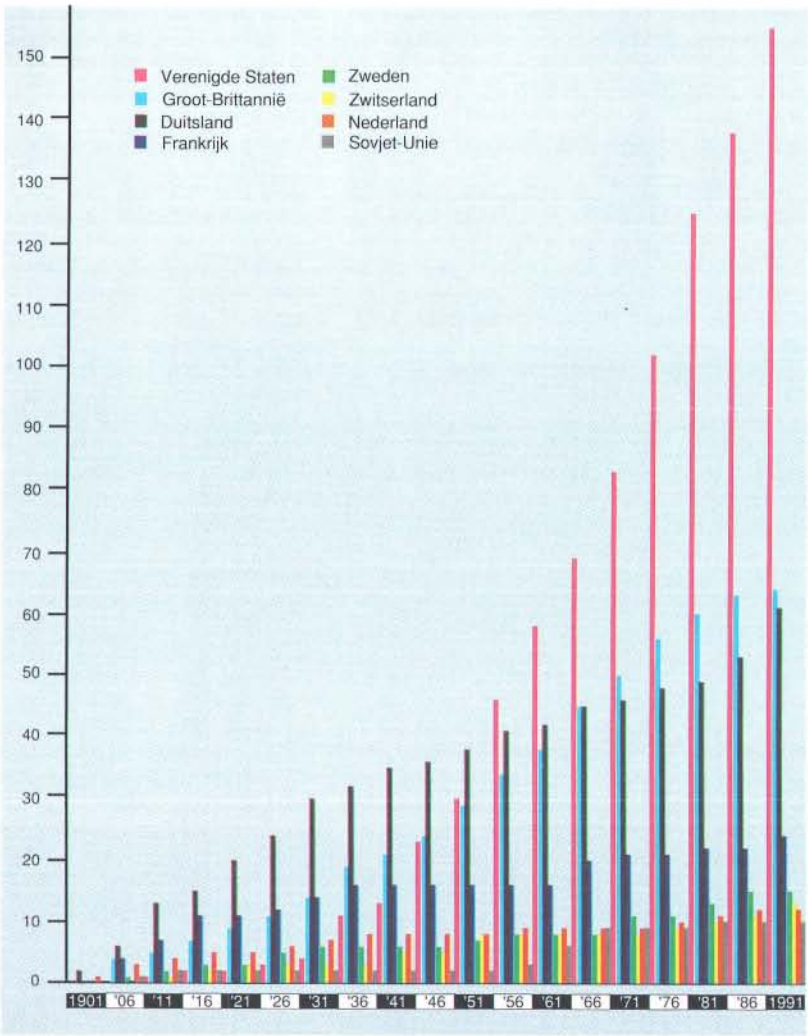




Waarom wij niet?

Toch heeft de Nobelprijs een duistere keerzijde. Lang niet iedereen is er blij mee. Zo wordt er bij elke Nobelprijs weer heel wat afgevloekt in de laboratoria. Nondeju, waarom zijn wij daar niet opgekomen! Heel wat Nederlandse onderzoekers hebben zich bijvoorbeeld tegen het hoofd geslagen toen Binnig en Rohrer in 1986 een Nobelprijs kregen voor een heel scherp naaldje waarmee ze quantummechanische effecten (het 'tunnelen') opriepen. Subsidiegever dr Kees le Pair van de Stichting Technische Wetenschappen: "Een stuk of drie, vier laboratoria in Nederland waren ook met scherpe naaldjes bezig en hadden met wat geluk en inzicht hetzelfde resultaat kunnen hebben."

Een nare bijkomstigheid van de Nobelprijs is dat de meeste kandidaten weten dat ze kandidaat zijn. Eigenlijk hoort dat niet. Het fatsoen wil dat de mensen die anderen kandidaat stellen, daar niet over praten. De natuurkundige prof dr H.B.G. Casimir: "Meestal krijg ik in september een formulier van de Zweedse Academie waarop ik mijn suggesties moet invullen. Er zijn er meer in Nederland die worden gevraagd, maar hoeveel



Drie niet-Nobelprijswinnaars: Dmitri Mendelejev, Martin Veltman en Luc Montagnier. Mendelejev kreeg de prijs nooit, hoewel geen enkele chemicus zonder zijn periodiek systeem kan. Deeltjesfysicus Veltman wordt al twintig jaar genoemd als kanshebber. Voor Montagnier, de ontdekker van het aids-virus, lijkt toekenning van de prijs slechts een kwestie van tijd. (foto's: Deutsches Museum, Michael Kooren/Elsevier Bonaventura en Institut Pasteur)

De acht succesvolste Nobelprijslanden voor natuurkunde, scheikunde en fysiologie of geneeskunde. Steeds is het totale aantal tot en met een bepaald jaar uitgezet.

het er zijn, weet ik niet. Daar praat men liever niet over."
Feit is echter dat er vaak toch wel over wordt gepraat. Nico Bloembergen die hem in 1981 kreeg: "Ik wist al jaren dat ik op de nominatie stond. Officieel is alles geheim en weet je niet dat je op de kandidatenlijst staat. Maar de realiteit is natuurlijk dat er altijd wel iemand is die je erop attendeert dat je bent voorgedragen."
Onderzoekers die weten dat ze een kans hebben om ook zo'n begeerlijk aureool te verwerven, worden soms gek van de Nobelprijs. Casimir: "Er zijn mensen die er een complex van overhouden dat ze die prijs niet hebben gekregen. En misschien vaker nog wel hun echtgenotes."
De Nederlandse deeltjesfysicus Martin Veltman, hoogleraar in Michigan, is bijvoorbeeld al jaren een kandidaat. Hij kan het woord Nobelprijs niet meer horen. In de jaren zeventig was Veltman hoogleraar in Utrecht en maakte met zijn leerling Gerard 't Hooft berekeningen die het mogelijk maakten de zwakke kernkracht, elektriciteit en magnetisme in een enkele formule samen te brengen. Sindsdien is de herfst voor Veltman een stuk minder leuk geworden. Elke keer als de blaadjes vallen, denkt hij: zal ik hem dit keer krijgen? Helemaal pijnlijk voor hem zou zijn als zijn leerling 't Hooft die van de media meer *credit* voor deze

vondst heeft gekregen dan Veltman, hem alleen zou krijgen.
Veltman is verbitterd over de Nobelprijs. "Die Nobelprijs zie ik als een nare schaduw over mijn leven. Van mij mogen ze dat instituut afschaffen. Bijna twintig jaar hangt dat nu op de achtergrond. Het verpest je leven. Ik neem aan dat het leuk is als je hem krijgt, maar twintig jaar in de schaduw zitten is niet leuk, dat verzeker ik u."
Er zit iets kunstmatigs aan de Nobelprijs, mede ook door de ouderdom van het instituut. Aan het begin van deze eeuw speelde biologie bijvoorbeeld nog niet zo'n belangrijke rol. Tegenwoordig echter is de biologie een wetenschap, die in sommige opzichten baanbrekend (biotechnologie, recombinant-DNA-techniek) is. Dus wat doen de Nobelcomités? Ze geven biologen de Nobelprijs chemie of geneeskunde! In het *Vakblad voor Biologen* is eens beweerd dat sinds 1980 elk jaar biologen (vooral biofysici en molekulair biologen) in de prijzen zijn gevallen.

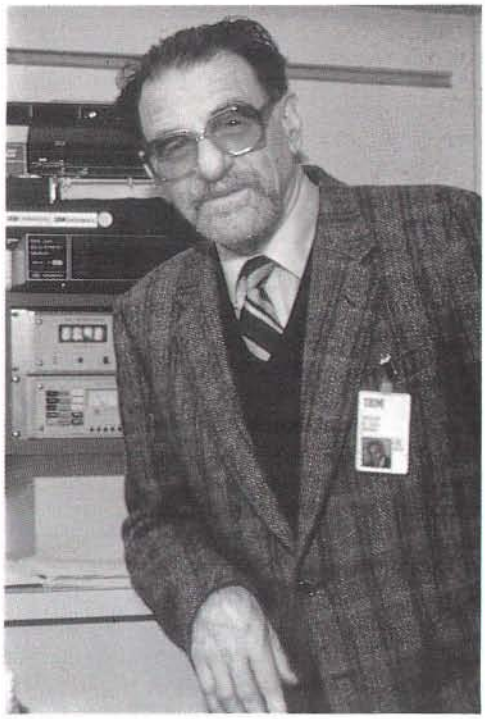
Bij sommige disciplines lukt dat minder makkelijk. Een enkele keer kan men astronomisch onderzoek wel onder de natuurkunde moffelen, zoals toen Penzias en Wilson de prijs kregen voor de reststraling van de Big Bang, maar iemand als de Nederlandse astronoom Jan Hendrik Oort is de dupe van het feit dat in het testament van Alfred Nobel de astronomie is vergeten.

Jatten in de wetenschap

Karl Alex Müller is het soort onderzoeker waar de Nobelprijs eigenlijk voor bedoeld is. Een wat oudere man in een tweedjasje die door zijn collega's al jarenlang als een halve godheid werd beschouwd en waar de Nobelprijs de resterende helft godheid aan toevoegt.
In het begin ging de Nobelprijs altijd naar gevestigde namen, mensen die hun sporen verdiend hebben. Allemaal Karl Alex Müllers, Bohrs en Einsteins. Maar ja, het probleem is dat dat op een gegeven moment ophoudt. Vooral na de oorlog komt het steeds vaker voor dat relatief jonge (in deze contreien is beneden de vijftig al piepjong) en eigenlijk niet zo erg bekende onderzoekers Nobelprijzen krijgen.
Daarmee is de prijs ook meer omstreden geworden. Onlangs nog baarde de Fransman Dominique Stehelin in Frankrijk veel opzien door te stellen dat hij eigenlijk de Nobelprijs van 1989 had moeten krijgen. Stehelin kwam *sans gêne* op de Franse televisie en liet zich door de Franse kranten en weekbladen interviewen onder het motto: er is mij onrecht aangedaan. Er ontstond in Frankrijk een anglofobe stemming: bij de Nobelprijs spelen de Engelssprekende wetenschapsmensen elkaar de bal toe en wij Fransen zijn de pineut, want Franse wetenschappelijke tijdschriften worden niet gelezen. Ook Sergei Kapitsa, de zoon van de Nobelprijswinnaar en zelf een gerenommeerd onderzoeker, heeft meermalen gezegd dat er geopolitieke overwegingen spelen bij de toekenning van de prijzen en dat de Sovjet-Unie daarom te weinig aan bod is gekomen.
Helemaal onzinnig is de Franse en Russische kritiek niet, zegt deeltjesfysicus Martin Veltman. "In Amerika hebben wetenschappers zich altijd op de borst moeten slaan en daar zijn ze dan ook vreselijk goed in geworden."
Walter Hearn, een chemicus die samen heeft gewerkt met Roger Guillemin (Nobelprijs geneeskunde 1977), vertelde in *Science* eens eerlijk dat hij al als student wist hoe je 'dank u wel' in het Zweeds moest zeggen. Voor veel Amerikaanse wetenschapsmensen staat de carrière in het teken van de jacht op de Nobelprijs. Amerikanen jagen nu eenmaal altijd op het hoogst bereikbare (*go for it, man*) en dat is in de wetenschap de Nobelprijs.

UIT DE STATUTEN

De volgende personen hebben het voorrecht voorstellen in te dienen aangaande de toekenning van prijzen:
1. Zweedse en buitenlandse leden van de Academie van Wetenschappen;
2. leden van de Nobelcomités voor Natuurkunde en Scheikunde;
3. wetenschappers waaraan door de Academie van Wetenschappen de Nobelprijs is toegekend;
4. permanente en waarnemende hoogleraren in de Natuurkunde en Scheikunde aan de technische universiteiten en instituten in Zweden, Denemarken, Finland, IJsland en Noorwegen en aan het Karolinska-instituut;
5. houders van corresponderende leerstoelen op tenminste zes universiteiten of hogescholen die zijn geselecteerd door de Academie van Wetenschappen, met de bedoeling verzekerd te zijn van de juiste spreiding van de commissie over de verschillende landen en centra van wetenschap;
6. andere wetenschappers aan wie de Academie het gepast vindt voorstellen te vragen.



Karl Alex Müller is het prototype Nobelprijswinnaar: een wat oudere onderzoeker die zijn sporen al lang heeft verdiend. (foto: IBM)

De prijs geeft de laureaat een aureool. Hij wordt anders bejegend - door zijn collega's, door de media, zijn echtgenote en de taxichauffeur

De suprematie van Amerika is overigens een modern fenomeen. Aan het begin van de eeuw kwamen Nobelprijzen bijna altijd in Europa terecht. De eerste Nobelprijs voor chemie was voor de Nederlander Van 't Hoff, de tweede voor natuurkunde werd gedeeld door Lorentz en Zeeman. Tja, toen stelde Nederland nog wat voor in de wereld van de wetenschap.

De jacht op de Nobelprijs leidt soms tot weinig verheffende taferelen. Veltman: "Onderzoekers die in de buurt van een Nobelprijs komen, gaan op hyena's lijken. Ze pikken elkaars ideeën. Dat kan allemaal, want er is geen politie die daarop let. Er staat nauwelijks een sanctie op jatten in de wetenschap."

Een oud strijdpunt is bijvoorbeeld wie de prijs hoort te krijgen: de man die het experiment doet of zijn supervisor. Dit speelde ook bij de affaire Stehelin. De Franse onderzoeker werkte in het laboratorium van Bishop en deed het werk (de ontdekking van kankerverwekkende genen, *oncogenen*) waarvoor Bishop en Varmus de prijs kregen.

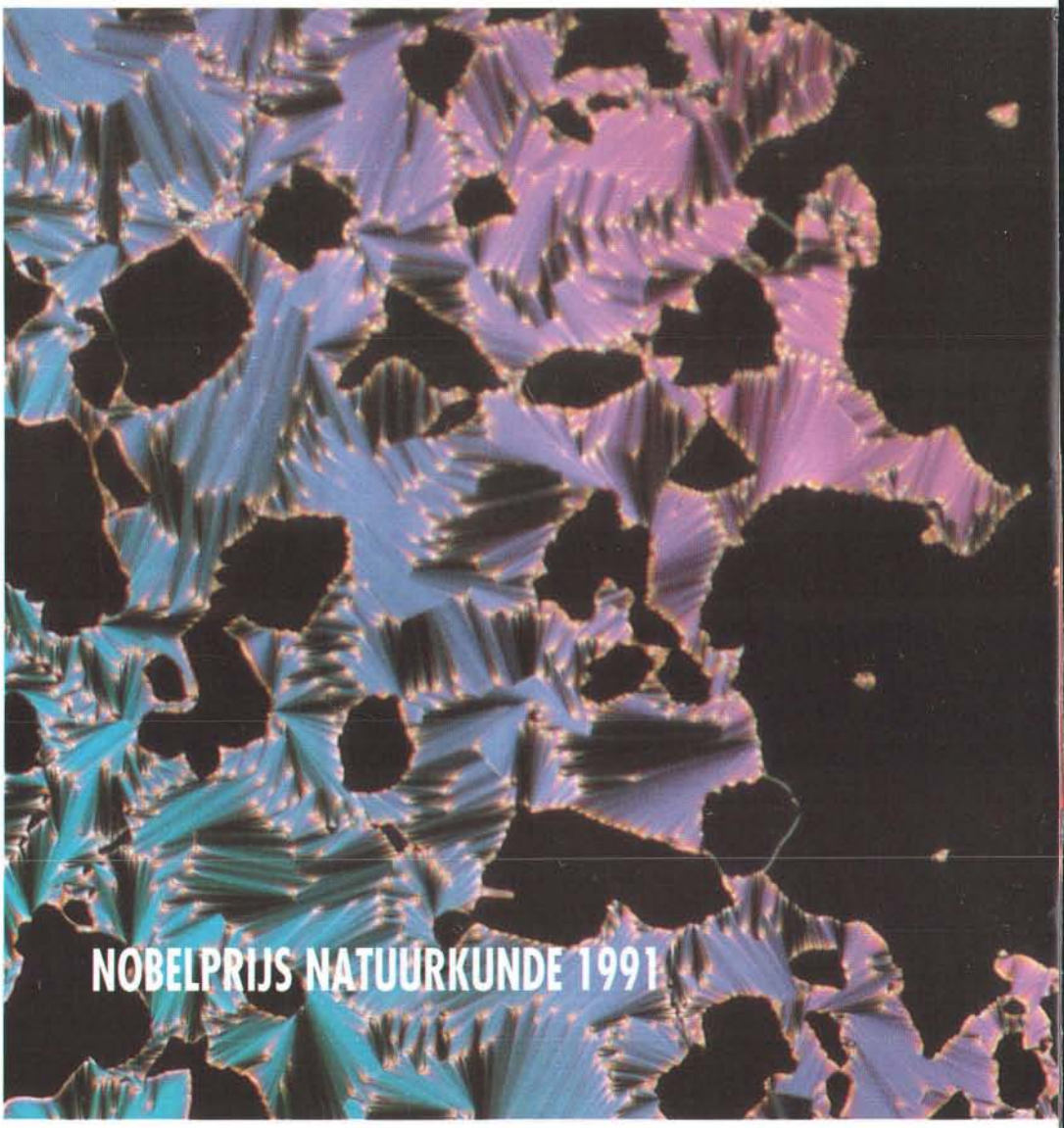
Ook de wijze waarop Kamerlingh Onnes zich aan het begin van de eeuw de ontdekking van de supergeleiding toeëigende, is hier een voorbeeld van. Het echte werk werd immers vooral door zijn assistent dr Gilles Holst verricht. In heel wat artikelen is er in retrospectief hierom kritiek op de toekenning van een ongedeelde Nobelprijs aan Kamerlingh Onnes, *the gentleman of absolute zero,* uitgeoefend.

Zeker in de eerste helft van deze eeuw was het veel gebruikelijker dat de professor die een enorme autoriteit was, alle artikelen van zijn wetenschappelijk medewerkers tekende. Nu is het veel gebruikelijker om alleen die artikelen te signeren waar de hoogleraar echt een belangrijke bijdrage aan heeft geleverd.

Tenslotte een tip voor een van de komende Nobelprijzen. Nu inmiddels duidelijk is geworden dat de Amerikaan Bob Gallo een tijdlang ten onrechte mede-ontdekker van het aidsvirus (en daardoor van de aidstest, die heel wat levens heeft gered) is genoemd, omdat 'zijn' virus uit het laboratorium van Luc Montagnier in Parijs kwam, is het zo goed als zeker dat Montagnier (eventueel samen met Chermann en Barré-Sinoussi) de Nobelprijs zal krijgen. Zolang het omstreden was wie het virus nu precies had ontdekt, kon de prijs niet worden toegekend. Montagnier: "Iemand die zich niet aan de regels houdt, verdient geen Nobelprijs." Nu inmiddels de mist is opgetrokken, staat niets de toekenning aan Montagnier nog in de weg.

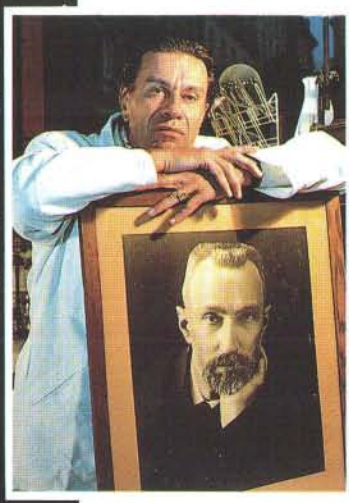
Alle citaten in dit artikel zijn afkomstig uit gesprekken met de auteur.

HERSENSPINSEL



S

De Nobelprijs voor de natuurkunde is dit jaar toegekend aan Pierre-Gilles de Gennes, verbonden aan het Collège de France in Parijs. Hij krijgt de prijs voor zijn werk waarmee hij het gedrag van vloeibare kristallen en polymeren heeft verklaard. Zijn veelzijdigheid bracht het Nobelcomité ertoe om hem als "de Isaac Newton van onze tijd" aan te duiden. Het gebeurt niet vaak meer dat Nobelprijzen in de natuurkunde aan één onderzoeker worden uitgereikt. Meestal worden de prijzen gedeeld door mensen die samen een ontdekking hebben gedaan, of toegekend aan onderzoekers die onafhankelijk van elkaar ieder een belangrijk aandeel in de doorbraak in een vakgebied gehad hebben. De Gennes domineert zozeer de vooruitgang in het vakgebied dat wordt aangeduid met gecondenseerde materie, dat het Nobelcomité hem de hele prijs heeft toegekend.



Pierre-Gilles de Gennes heeft met zijn groep wiskundige verklaringen geleverd voor de fase-overgangen in verschillende materialen, met name supergeleiders, vloeibare kristallen en polymeren. Dit vloeibare kristal verkeert in de smectische fase. De molekulen zijn gerangschikt in lagen waarin ze zich kunnen bewegen. De Gennes toont hier het portret van Pierre Curie, een van de eerste drie Fransen die de Nobelprijs voor de natuurkunde wonnen. De Gennes is de achtste Franse winnaar van deze prijs.

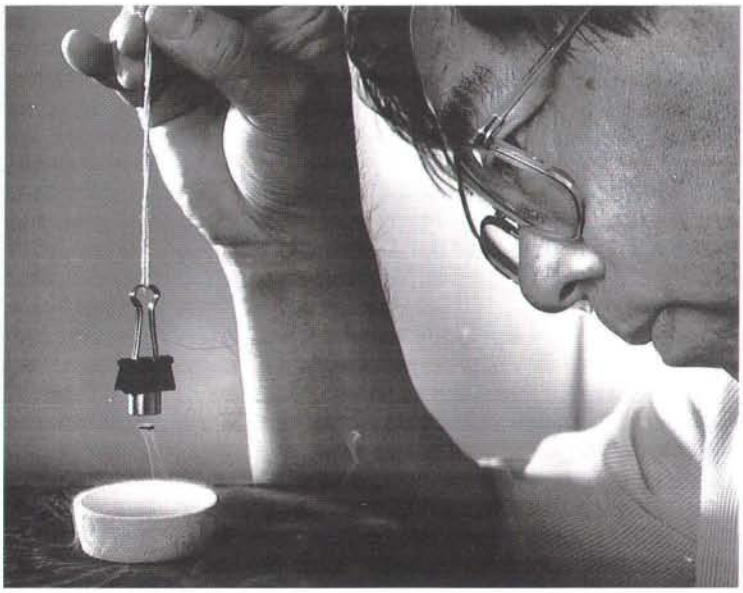
J.M.J. van Leeuwen
Instituut-Lorentz
Rijksuniversiteit Leiden

Pierre-Gilles de Gennes begon zijn studie aan de École Normale Supérieure en promoveerde daar op een onderwerp uit de neutronenverstrooiing. Neutronen zijn ongeladen, bij kernreacties vrijkomende, deeltjes waarvan de massa ongeveer overeenkomt met die van het waterstofatoom. Ofschoon ze instabiel zijn, leven ze lang genoeg (ca. 13 minuten) om ermee te experimenteren. Hun golflengten en energieën zijn van dezelfde orde van grootte als de afstanden tussen en de energieën van de molekulen waaruit de materie is opgebouwd. Neutronen vormen dus een ideaal middel om bewegingen in de materie bloot te leggen. Dat neutronen ongeladen zijn, heeft voor- en nadelen. In vergelijking met geladen deeltjes dringen ze veel beter door in materie en richten ze daar veel minder schade aan. Ze zijn echter moeilijker te sturen en op te sporen.

Neutronen die met grote snelheid op materie botsen, raken verstrooid in bepaalde richtingen. In sommige richtingen heeft de verstrooide straling een grotere intensiteit en is er sprake van een piek. De Gennes maakte meteen naam met zijn elegante verklaring voor het versmallen van de verstrooiingspiek bij toenemende snelheid van de neutronen. Zijn vertrouwdheid met neutronen is hem in zijn later onderzoek goed van pas gekomen.

Supergeleiding

Na het vervullen van zijn militaire dienstplicht en een kort verblijf in de Verenigde Staten, werd De Gennes hoogleraar in Orsay. Hij ontpopte zich daar als de drijvende kracht achter een zeer succesvolle onderzoeksgroep in supergeleiding. Supergeleiding is een onderwerp dat de natuurkundigen al lang en recentelijk weer opnieuw voor raadselen heeft geplaatst. In 1911 ontdekte Heike Kamerlingh Onnes in Leiden dat de elektrische weerstand van kwik wegviel beneden de kritieke temperatuur T_c van 4,2 K. Niet alleen een opzienbarende ontdekking, die hem in 1913 de Nobelprijs opleverde, maar ook een vondst van mogelijk zeer groot technologisch belang. Door de weerstand in de hoogspanningskabels gaat immers veel energie verloren bij elektriciteitstransport. Weerstand zorgt ook voor de warmte-ontwikkeling in elektrische schakelingen, netwerken, IC's, computers enzovoort, en die kan de werking daarvan ernstig belemmeren. Zonder weerstand zou dit alles tot het verleden behoren. Tot voor kort leken al deze dromen onuitvoerbaar, omdat supergeleiding beperkt was tot zulke lage temperaturen, dat grootschalige toepassing slechts in uitzonderlijke gevallen economisch verantwoord zou zijn.



1

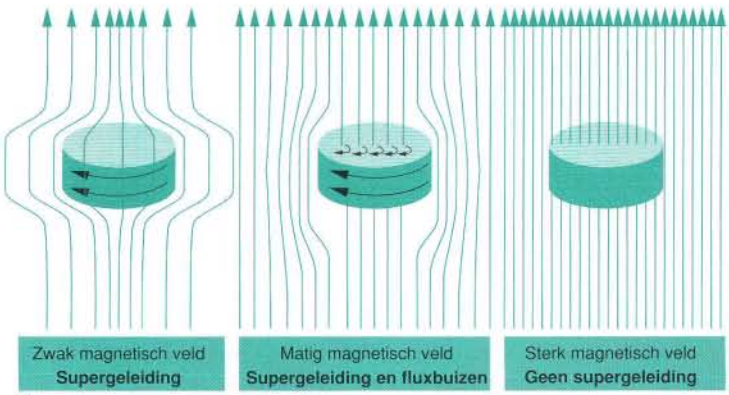
1. Alhoewel het werk van De Gennes aan supergeleiders al weer enige tijd geleden is verricht, is het door de uitvinding van de hoge-T_c-supergeleiders weer zeer actueel. Een klein supergeleidend plakje, gekoeld door vloeibaar stikstof, beweegt zich hier naar een magneet toe.

2. Een zwak magnetisch veld wekt een elektrische stroom op in een supergeleider. Daarmee gaat een magnetisch veld gepaard dat het oorspronkelijke veld tegenwerkt. Een matig magnetisch veld passeert de supergeleider in de vorm van fluxbuizen. Een sterk veld dringt volledig door in het materiaal. Er is dan geen sprake meer van supergeleiding.

Isaac Newton van onze tijd

INTERMEZZO

De vergelijking door het Nobelcomité van De Gennes met Newton lijkt wat minder geslaagd, niet alleen omdat Newtons gelijke in de natuurkunde niet bestaat maar ook omdat de stijl van De Gennes zo heel anders is. Newtons interesse ging sterk uit naar de wiskunde (*hypotheses non fingo*) en hij was een man die in eenzaamheid zijn theorieën ontwikkelde. Bovendien was Newton polemisch van karakter (denk aan de langdurige prioriteitskwestie met Leibniz over de ontwikkeling van de differentiaalrekening). Voor De Gennes is wiskunde uitsluitend een hulpmiddel om zijn intuïtie te bevestigen. Als vlot en onderhoudend spreker, veronderstellingen uitend en zonder moeite ze inruilend voor betere, overal ideeën rondstrooiend en stimulerend, is hij een ideale ambassadeur van de gecondenseerde materie, Een verdienste waar het Nobelcomité terecht oog voor heeft gehad.



2

Dit beeld is gewijzigd met de vondst van hoge-T_c-supergeleiders (supergeleidend tot zo'n 120 kelvin). Er blijft echter voldoende reden om niet al te optimistisch te zijn. Dit hangt samen met de vraag hoe een supergeleider zich gedraagt in een magneetveld. Magnetisme en supergeleiding staan op gespannen voet. In eerste instantie tracht de supergeleider magneetvelden buiten de deur te houden. De supergeleider wekt daarom een superstroom op aan het oppervlak, die het magneetveld afschermt zodat het binnengebied van de supergeleider veldvrij is.

Wanneer het aangelegde magneetveld sterker wordt, kunnen er twee dingen gebeuren. De eerste mogelijkheid is dat de supergeleider het opgeeft. Hij gaat normaal geleiden en het veld dringt als een homogeen veld binnen. Een tweede mogelijkheid is dat de supergeleider zich schikt naar het magneetveld, maar tracht de schade te beperken door het veld op enkele plaatsen in geconcentreerde vorm binnen te laten. Door het optreden van zulke *fluxbuizen* blijft een groot deel van de supergeleider veldvrij. Verder opdrijven van het veld leidt tot een verdichting van het fluxbuizenrooster en uiteindelijk ook tot de normale toestand.

Waarom is de wijze van binnendringen van het magneetveld zo belangrijk? Er staat een technisch belang op het spel: één van de belangrijkste toepassingen van supergeleiding is namelijk het maken van sterke magneetvelden met behulp van supergeleidende spoelen. De supergeleider mag dan uiteraard niet in de normale toestand worden gedrongen door het magneetveld dat hij zelf opwekt. Hierdoor zou plotseling een grote weerstand en een enorme warmte-ontwikkeling optreden.

De Orsay-groep onder leiding van De Gennes heeft hierover een aantal belangwekkende vragen opgelost. Met name heeft zij verklaard wat er gebeurt aan het oppervlak van de supergeleider en hoe de fluxbuizen door het materiaal bewegen. Door de ontdekking van de hoge-T_c-materialen zijn deze vragen weer uiterst actueel. De fluxbuizen lijken in deze materialen veel makkelijker te bewegen dan in de klassieke, zeer koude supergeleiders. Helaas is een bewegende fluxbuis een vorm van weerstand met daarmee gepaard gaande warmteontwikkeling.

Vloeibare kristallen

Zijn werk aan supergeleiders inspireerde De Gennes tot de bestudering van vloeibare kristallen. Vloeibare kristallen zijn opgebouwd uit sigaarvormige molekulen. Zoals sigaren in een kist, kunnen de molekulen in een kristal op vele manieren zijn gerangschikt: kriskras door elkaar, allemaal min of meer parallel of zelfs netjes op rijtjes. De natuur vertoont een grote variëteit in sigaarvormige molekulen en het aantal mogelijke stapelingen is dienovereenkomstig groot. De Gennes ontdekte dat de vergelijkingen die aangeven welke rangschikking optreedt, een grote overeenkomst vertonen met de vergelijkingen die de toestand van de supergeleider bepalen. Zo komt het binnendringen van het magneetveld in een supergeleider overeen met het ontstaan van verstoringen in de geordende toestand van vloeibare kristallen.

Voor De Gennes zich ermee bemoeide, was het onderwerp vloeibare kristallen onder natuurkundigen niet erg populair. De molekulen zijn complex en de experimenten ermee lastig en moeilijk te interpreteren. Zoals bekend zijn vloeibare kristallen technisch wel belangrijk, met name vanwege hun optische eigenschappen die sterk afhankelijk zijn van druk, warmte en elektrische velden. Daardoor kan men ze vrijwel zonder energieverbruik benutten in de schermpjes van digitale horloges, zakrekenmachines, schootcomputers en televisies. Met zijn verklaring heeft De Gennes orde geschapen in het weinig overzichtelijke gebied van vloeibare kristallen en daarmee het vak van obscuur tot een 'hot topic' gemaakt. Ook hier toonde hij zich een meester in het vertalen van de theoretische resultaten naar experimentele vragen en in het stimuleren van de experimentatoren om hem heen tot het doen van cruciale experimenten.

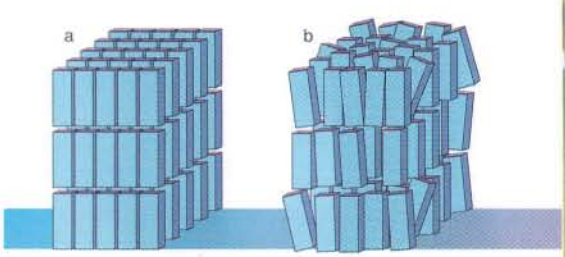
Polymeren

De Gennes' belangstelling voor het onderzoek aan polymeren ontstond toen hij inzag dat neutronenverstrooiing het ideale middel was om de beweging van polymeerketens te ontrafelen. Polymeren zijn ketens van atoomgroepen, die in principe willekeurig lang zijn. Scheikundigen zijn in staat om de processen die de lengte van de ketens bepalen te beheersen. Zoals eerder

3a

3b

4



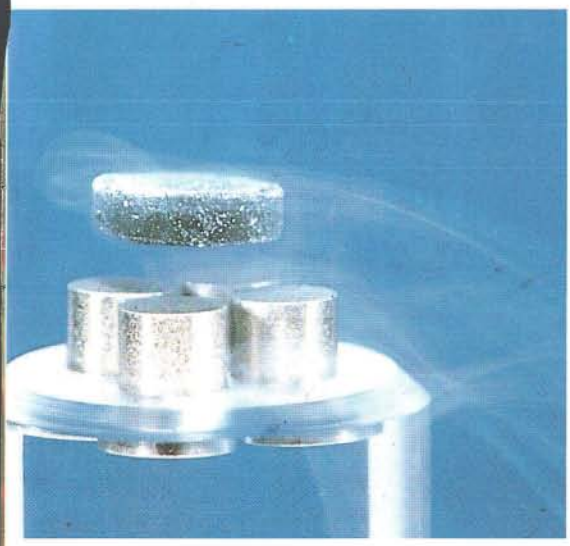
5

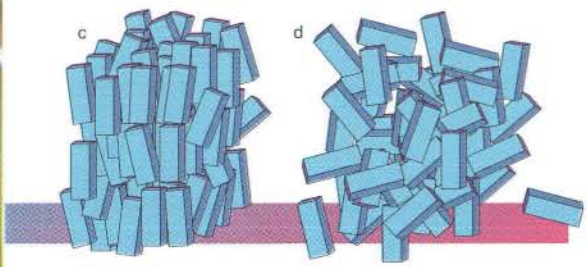
3. Vloeibare kristallen kunnen voorkomen in verschillende fasen. De Gennes heeft een verklaring gegeven voor de lichtverstrooiing in de nematische fase. Onder de polarisatiemicroscoop zijn de domeinen in deze fase zichtbaar. In ieder domein zijn de kristallen iets anders gerangschikt (a). In dit geval bestaat de molekulaire bouwsteen uit twee sigaarvormige molekulen die zijn verbonden door een brug (b).

4. Het Meissner-effect, waarbij het magnetisch veld van de supergeleider de zwaartekracht overwint, is een kenmerk van supergeleiders. In de hoge-T_c-supergeleiders is het ontstaan van fluxbuizen bij een sterker uitwendig magnetisch veld een probleem.

5. Vloeibare kristallen kunnen door temperatuurverhogingen in een andere fase overgaan. Het vaste kristal (a) gaat allereerst over in een fase waarin de molekulen alleen in een vlak bewegen: de smectische fase (b). In de nematische fase is er meer wanorde en bewegen de molekulen ook dwars op het vlak (c). Bij nog hogere temperatuur verdwijnt elke vorm van orde en bewegen de molekulen kriskras door elkaar. Er is nu sprake van een vloeistof (d).

6. Het visceus-elastische gedrag van polymeren is een belangrijke factor bij plasticverwerking als spuitgieten en extruderen. De fysische eigenschappen van afkoelend plastic bepalen wanneer het produkt van de matrijs kan worden verwijderd.



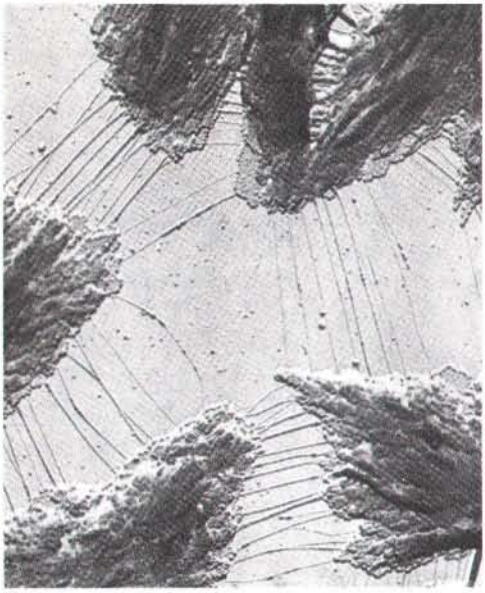


gezegd, stemt de golflengte en energie van neutronen aardig overeen met de molekulaire afstanden en bewegingen. Bij beschieting van polymeren met neutronen, kunnen uit de verstrooiingspatronen zowel de bewegingen als de ruimtelijke ordening van polymeeroplossingen worden afgeleid.

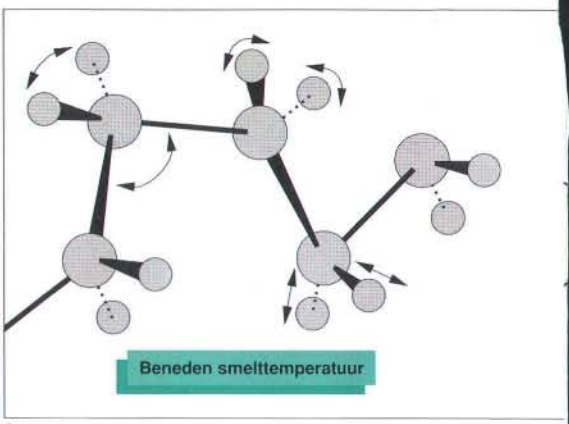
Röntgenstraling is hiervoor in principe ook geschikt, maar polymeren zijn erg doorzichtig voor röntgenstralen zodat er niet veel contrast is. Denk maar aan de röntgenfoto's van het menselijk lichaam, waar alleen een geoefend oog iets aan ziet. Men kan het contrast opvoeren door atomen te vervangen door zware metalen. Dit heeft echter een dramatische invloed op de bewegingen van de ketens, zodat men niet meer de oorspronkelijke dynamica van de ketens bestudeert. Om met neutronenverstrooiing de beweging van een bepaald type molekulen waar te nemen, gebruikt men de substitutie van waterstofatomen door deuterium. Dit veroorzaakt slechts een geringe verstoring van de beweging.

Begin jaren zeventig ontdekte K.G. Wilson hoe men *kritieke verschijnselen* kan begrijpen. Kritieke verschijnselen zijn de natuurkundige fenomenen die optreden als orde overgaat in wanorde en omgekeerd. Een voorbeeld hier van is het ferromagnetisme. Bij voldoende ver-

6



7



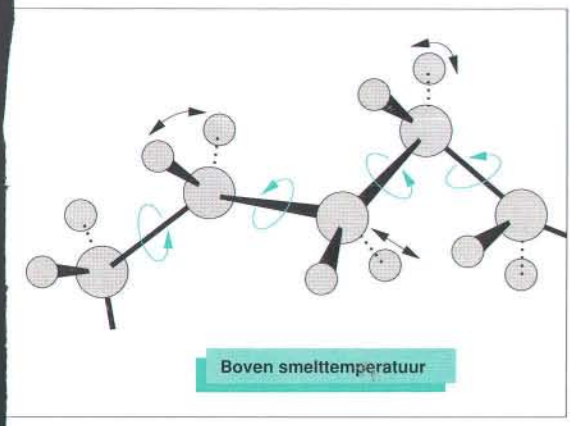
8

7. In de kunststof polyetheen zijn kristallieten met elkaar verbonden door plasticdraden. Naarmate de polyetheenketens langer zijn, raken ze meer in elkaar verward en kunnen ze zich ook moeilijker langs elkaar bewegen. Het plastic is dan harder.

hitting verliest een permanente magneet zijn magnetisme. De thermische beweging van de elektronen vernietigt dan hun magnetische ordening (hun magnetische dipolen staan in het gelid). Bij afkoelen keert de ordening weer terug. Ontmengen van vloeistoffen en legeringen en de instelling van een evenwicht tussen damp en vloeistof, vertonen ook deze kritieke punten waar de ordening inzet.

Wiskundig is dit heel interessant, omdat hierbij singuliere functies optreden. Normaal gesproken hebben de natuurwetten een vorm waarbij een grootheid y evenredig is met een of andere x, het kwadraat daarvan (x^2) of zelfs een macht (x^n). Maar zelden zal y evenredig zijn met een macht x^α waarbij α geen geheel getal is. Door schade en schande hebben natuurkundigen geleerd dat de natuur zich bij kritieke punten niet laat persen in de vorm van een gehele exponent of zelfs een exponent die een eenvoudige breuk is, zoals $\sqrt{x}$. Op het oog treden willekeurige exponenten op, zij het heel vaak dezelfde.

Een paar maanden na de lancering van de ideeën van Wilson zag De Gennes hoe deze op polymeren van toepassing waren. Een sleutelprobleem in de polymeerfysica is dat de eigenschappen van polymeren, in gesmolten toestand of in oplossing, afhankelijk zijn van de lengte N van de ketens, ofwel het aantal atoomgroepen in de keten. Flory had al in de gaten dat men hier op een fundamentele kwestie stuit en stelde zich de vraag wat de gemiddelde afstand is tussen de eindpunten van de keten. Indien het polymeer zich gedraagt als een gespannen touw, zou die afstand eenvoudig het aantal atoomgroepen N maal hun doorsnede zijn. Maar deze toestand is uiterst onwaarschijnlijk: de grote meerderheid van de ketens bestaat uit ruimtelijke patronen waarbij het polymeer van atoomgroep tot atoomgroep een soort 'random walk' (dronkemanspad) volgt. Random walks zijn een geliefd wiskundig onderwerp, waarover veel bekend is. Maar met de polymeerketen is er een complicatie. De ruimtelijke opeenvolging van atoomgroepen is niet helemaal willekeurig. Waar zich al een atoomgroep bevindt, kan geen tweede zitten. Met andere woorden, het kronkelige random-pad kan zichzelf niet doorkruisen en moet zichzelf vermijden. Een dergelijke herinnering van de plaatsen waar hij al geweest is, maakt het probleem van de gemiddelde afstand tussen de uiteinden wiskundig onoplosbaar. Er was fysische intuïtie voor nodig om het antwoord te raden. Flory stelde de afstand evenredig met een gebroken macht van N, een voorstel dat in de praktijk aardig voldeed.



8. Een belangrijk kenmerk van polymeren is de smelttemperatuur. Beneden die temperatuur is een plastic hard en kunnen de molekulen niet ten opzichte van elkaar bewegen. Wel trillen de atomen ten opzichte van elkaar. Boven het smeltpunt heeft de polymeerketen een veel grotere bewegingsvrijheid. De keten kan nu ook buigen in allerlei richtingen.

De Gennes zag dat Wilsons technieken op dit probleem van toepassing zijn. Wel moest hij daarvoor een zeer gedurfde stap nemen. Wilsons theorie is geformuleerd in termen van een orde-parameterveld, een functie die aangeeft in welke mate een gebied in de ruimte is geordend. De grootheid waarop de ordening betrekking heeft, kan diverse componenten hebben. Magnetisatie is bijvoorbeeld een vector met drie componenten. De Gennes voerde een abstract orde-parameterveld in en stelde dat men de limiet moest nemen waarbij het aantal componenten naar nul (!) gaat om het effect van het zelfvermijden van de polymeerketen in rekening te brengen. Hieruit blijkt hoezeer De Gennes abstracte begrippen vermag te doorzien en op concrete gevallen kan toepassen.

Systematisch behandelt De Gennes in zijn boek over polymeren de N-afhankelijkheid van de eigenschappen van polymeren. Het bijzondere aan dit boek is, dat hij met eenvoudige redenaties steeds weer de belangrijke verbanden naar voren weet te halen. Daarbij bedient hij zich soms van plastische beelden. Zo vergelijkt hij de bewegingen van een polymeerketen die aan alle kanten door andere is ingeklemd, met het kruipen van een slang (reptatie), om daaruit vervolgens op simpele wijze het visceus-elastisch gedrag van polymeren te verklaren.

Verven, lijmen en scheuren

De vooruitgang in de natuurkunde komt voort uit de inspanning van zeer velen. Vergelijken we de wetenschap met een boom, dan groeien er telkens aan de eindpunten van de takken een paar blaadjes bij. Helaas hebben veel wetenschappers het te druk met hun eigen problemen en zien ze de bloei in andere takken niet. Daarmee gepaard gaan tendenzen naar exotische verschijnselen en abstracte problemen. De Gennes is hierin een tegenwicht. Zijn favoriete rol en zijn kracht is gebieden met elkaar in verband te brengen. Zijn recente interesse gaat uit naar zulke alledaagse problemen als het bevochtigen van oppervlakken (verven), adhesie van polymeren aan oppervlakken (lijmen) en de voortplanting van scheuren. Deze belangstelling voor technologische problemen weet hij ongeëvenaard te combineren met zijn talent als theoretisch natuurkundige. Opmerkelijk is ook zijn vermogen om onderwijs en onderzoek te integreren. Zijn positie aan het Collège de France verplicht hem om ieder jaar een nieuw college te geven. Voor hem is dat geen last, maar een gelegenheid om iedere keer een nieuw vakgebied te bestuderen, het te confronteren met zijn enorme kennis van andere gebieden en het daarmee nieuw leven in te blazen.

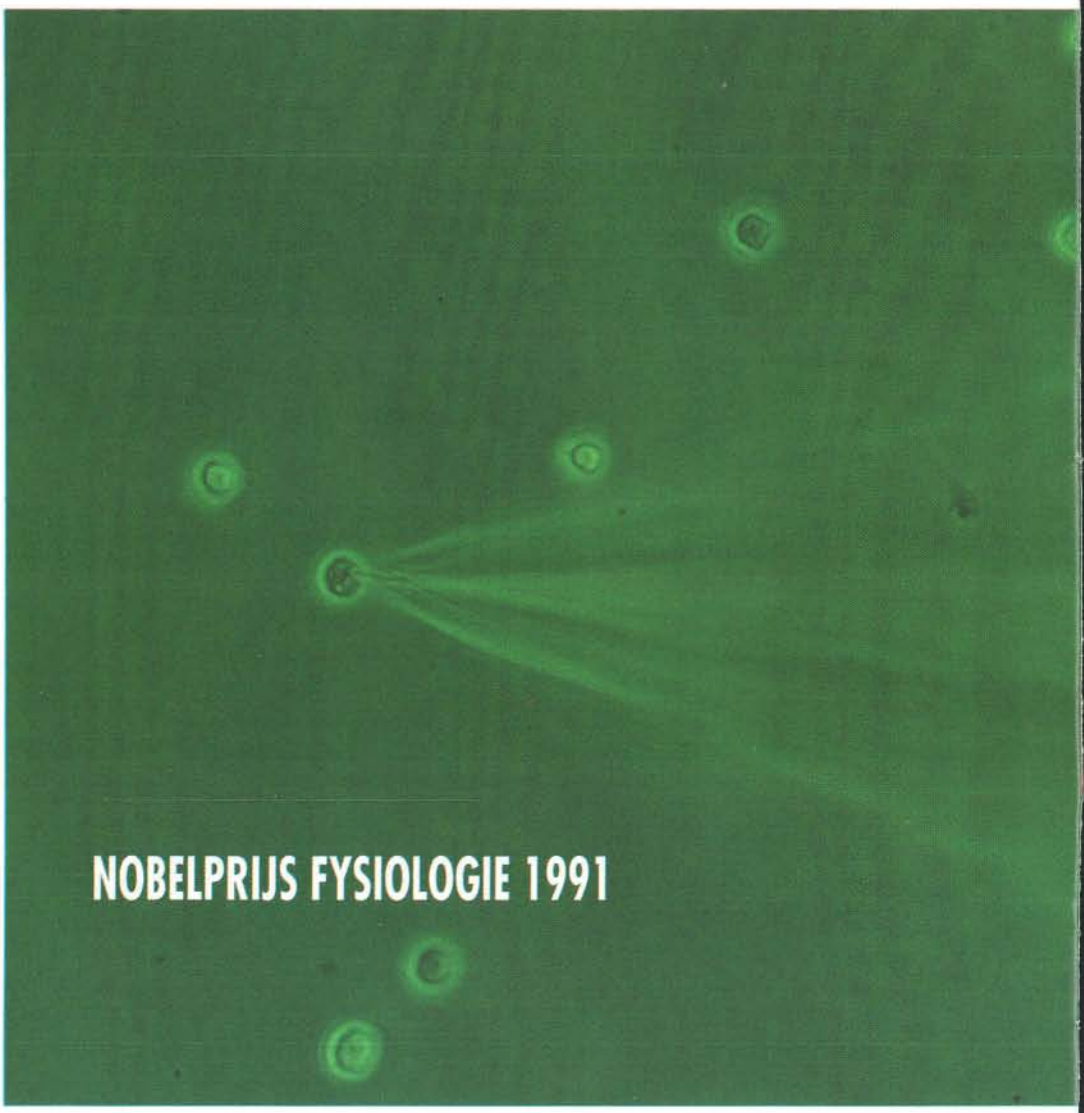
Literatuur

Griessen R. Supergeleiding - Een hot issue. Natuur & Techniek 1987, 55: 9, 710-721.
Sprang HA van, Vertogen G. Vloeibare kristallen - De jacht is geopend. Natuur & Techniek 1986, 54: 5, 384-397.

Bronvermelding illustraties

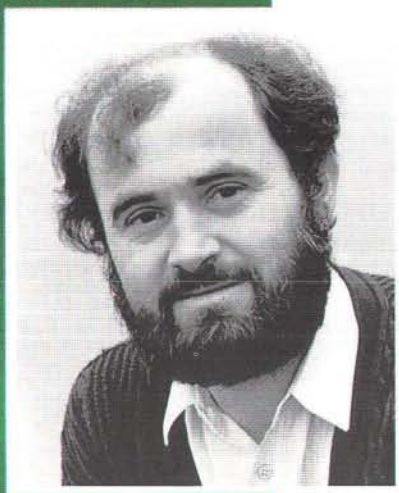
Prof G.R. Lockhurst, universiteit van Southampton: pag. 896-897, 3a.
ANP, Amsterdam: pag. 897.
Lockheed, Palo Alto, VS: 1.
J. Rector, VU Amsterdam: 4.
DSM, Heerlen: 6.
Bell Telephone Laboratories, VS: 7.

SIGNAAL PER K



ANAAL

Sinds Galvani en Volta omstreeks 1775 ontdekten dat de prikkeling van spier- en zenuwweefsel een elektrisch verschijnsel is, hebben generaties elektrofysiologen gezocht naar de oorzaken van dit fenomeen. In de jaren veertig van onze eeuw werd ontdekt dat de verklaring lag in ionenstromen door celmembranen. De winnaars van de Nobelprijs fysiologie 1991, Erwin Neher en Bert Sakmann, verfijnden de techniek voor het meten van deze ionenstromen zozeer, dat zij zelfs de stroompjes door individuele ionenkanalen konden meten. Tot ieders verbazing bleken zulke stromen een digitaal karakter te hebben: de kanalen waardoor de ionenstroom loopt, kunnen slechts geheel open of geheel gesloten zijn. Ionenkanalen komen voor op alle plantaardige en dierlijke cellen. Ze zijn onder andere van groot belang voor de communicatie tussen de cel en zijn omgeving.



Een menselijke lymfocyt is vastgezogen aan een micropipet. Met de pipet kan een stukje membraan uit de cel worden losgescheurd. Het blijft als een soort zeepvlies over de pipetopening gespannen. Erwin Neher (met baard) en Bert Sakmann slaagden er als eersten in deze techniek toe te passen. Dankzij een elektrode in de pipet konden zij de ionenstroom door losse ionenkanalen in het stukje celmembraan meten.

R.C. Peters
Vakgroep Vergelijkende Fysiologie
Rijksuniversiteit Utrecht

H.P.M. Vijverberg
Research Instituut Toxicologie (RITOX)
Rijksuniversiteit Utrecht

De Duitse onderzoekers prof dr Erwin Neher (47) en prof dr Bert Sakmann (49) kregen vorige maand de Nobelprijs voor de geneeskunde en de fysiologie voor hun onderzoek naar de elektrische stroom door individuele ionenkanalen. De techniek die zij daartoe ontwikkelden staat bekend als *patch-clamp*. Neher studeerde natuurkunde en is directeur van de afdeling membraanbiofysica van het Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen. Sakmann studeerde geneeskunde en leidt de afdeling celfysiologie van het Max-Planck-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg. Hij studeerde in Berlijn en werkte onder meer bij de Britse Nobelprijswinnaar Bernard Katz.

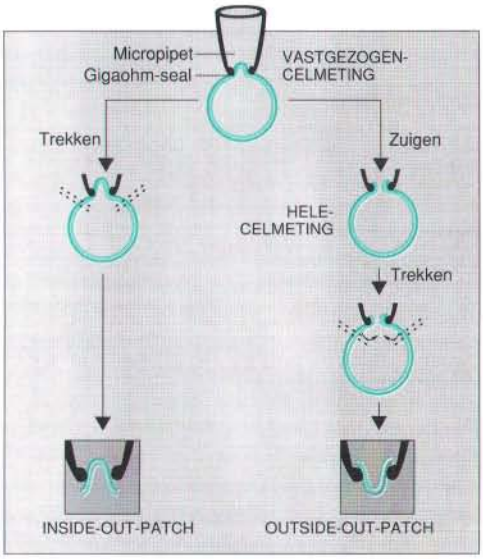
De artikelen die Neher en Sakmann samen publiceerden, geven een goede indruk van de ontwikkeling van hun vinding. In 1974 schrijft Neher een boek getiteld *Elektronische Messtechnik in der Physiologie*. Het geschrift munt uit door helderheid en beknoptheid en wordt nog steeds bij vele cursussen gebruikt. Het 'klassiek'-elektrofysiologische boek markeert het moment waarop zogenaamde operationele versterkers, hoogwaardige halfgeleiderschakelingen, tegen een zacht prijsje voor doorsneeonderzoekers beschikbaar komen. In 1976 ma-

Een patch met één kanaal

Voor het bestuderen van de minuscule elektrische stroompjes door een enkel ionenkanaal (single channel) wordt gebruik gemaakt van de *single-channel-patch-clamptechniek*. Aangezien in cellen vaak grote aantallen uiteenlopende typen ionenkanalen voorkomen, dient daarvoor een stukje membraan – een zogenaamde *patch* – met daarin slechts één of enkele ionenkanalen te worden geïsoleerd.

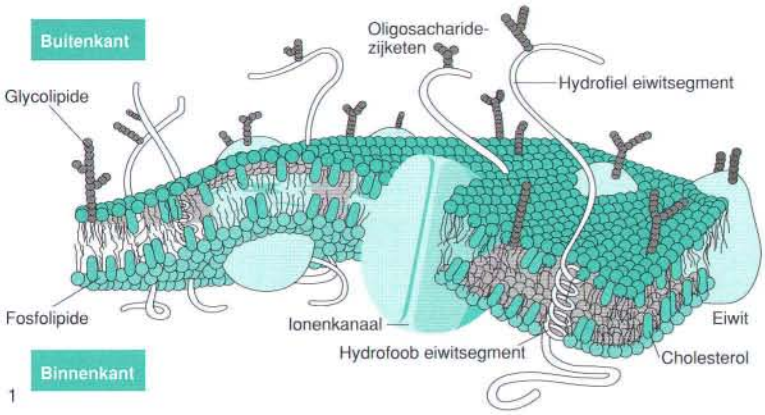
De isolatie van een patch geschiedt met behulp van een spitse glaspipet waarvan de tip een diameter heeft van hooguit een micrometer. Een pipet maak je door een glazen buisje van één à twee millimeter doorsnede in een spiraalvormige gloeidraad te plaatsen, te verhitten en langzaam uit te trekken. De hitte, het glas en de trekkracht bepalen de vorm van de pipet. De pipet, gevuld met een fysiologische zoutoplossing, wordt geplaatst tegen de membraan van een levende cel die met behulp van speciale lichtmicroscopische technieken (fase-contrast- of Nomarsky-optiek) zichtbaar is gemaakt.

Door voorzichtig te zuigen ontstaat een *gigaseal*, een zeer nauw contact tussen het glas van de pipet en de celmembraan met een elektrische weerstand van tientallen giga-ohm ($> 10^{10}\ \Omega$). Na gigasealvorming is een stukje membraan op de cel elektrisch van zijn omgeving geïsoleerd. Een zeer hoogwaardige meetversterker houdt via een elektrode (een dunne zilverdraad met een zilverchloridelaagje) de elektrische potentiaal in de pipet constant (voltage-clamp). Wanneer het geïsoleerde ionenkanaal zich opent en sluit, ontstaan kleine variaties in de elektrische weerstand van de patch en daardoor in de stroom die nodig is om de potentiaal in de pipet constant te houden (volgens de wet van Ohm: $V = I \times R$). Via de versterker worden die variaties vastgelegd.



I-1

I-2



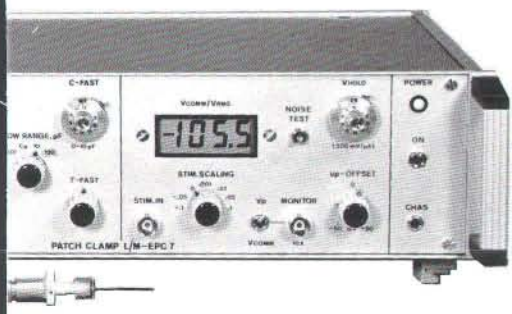
1

2

INTERMEZZO

Door verschillende manipulaties met de pipet is het tevens mogelijk om patches uit een cel te verwijderen en wel zodanig dat de binnenkant òf de buitenkant van de membraan naar buiten gekeerd is (inside-out- en outside-out-patch; zie afb. I-1). Dit heeft als belangrijk voordeel dat zowel de elektrische potentiaal over de patch als de chemische samenstelling van de vloeistof 'binnen' of 'buiten' de cel, nauwkeurig kunnen worden gecontroleerd. De levensduur van een losse patch kan worden vergeleken met die van een zeepbel en varieert. Hierdoor is de duur van een patch-clampexperiment beperkt.

I-1 en I-2. Bij patch-clamp wordt de cel hecht tegen een pipet aangezogen (gigaseal). Door voorzichtig aan de pipet te trekken ontstaat een inside-out-patch. Wordt de zuigkracht op de nog intacte cel daarentegen opgevoerd, dan scheurt die open. Trekken maakt daarna een stukje membraan vrij dat zich herstelt tot outside-out-patch. Ten behoeve van de techniek ontwikkelde Neher een speciale versterker.



1. De celmembraan van een dierlijke cel bestaat uit een dubbellaag van fosfolipiden, de bolletjes met staarten. In de membraan liggen langgerekte en bolvormige eiwitten ingebed, die kunnen zijn voorzien van suikerketens. Enkele eiwitten fungeren als ionenkanaal.

2. Een patch, een stukje van een celmembraan (pijl), is vastgezogen op de tip van een micropipet.

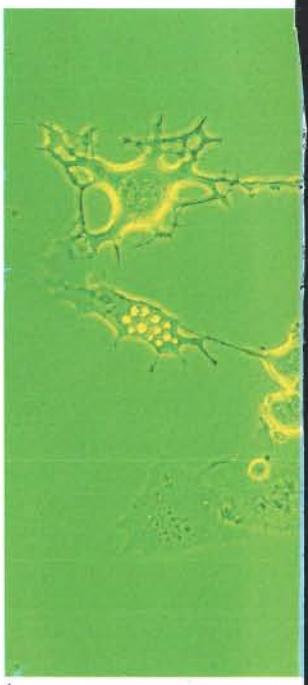
ken Neher en Sakmann voor het eerst melding van een stroommeting door een enkel ionenkanaal en in 1983 verschijnt hun bundel *Single Channel Recording*, met de ervaringen van de eerste lichting 'patch-clampers'.

In 1987 leggen Neher en Sakmann contact tussen hun techniek en de molekulaire biologie. Zij brachten het gen dat codeert voor serotoninereceptoren uit rattehersenen over naar de eicel van een klauwpad. Vervolgens toonden zij aan dat die 'getransplanteerde' receptoren signalen doorgeven aan ionenkanalen in de celmembraan. Dat signaal wordt overgebracht door calciumionen in de cel. Met andere woorden: als de receptoren de stof serotonine waarnemen, openen de ionenkanalen zich doordat de calciumconcentratie in de cel verandert. In 1989 is de patch-clamptechniek zover verfijnd dat de Nobelprijswinnaars de versmelting van blaasjes met de membraan capacitief kunnen meten (zij registreren dus de verdeling van elektrische lading over de membraan). Dit maakt het mechanisme van afgifte van transmitters en hormonen toegankelijk voor elektrofysiologen.

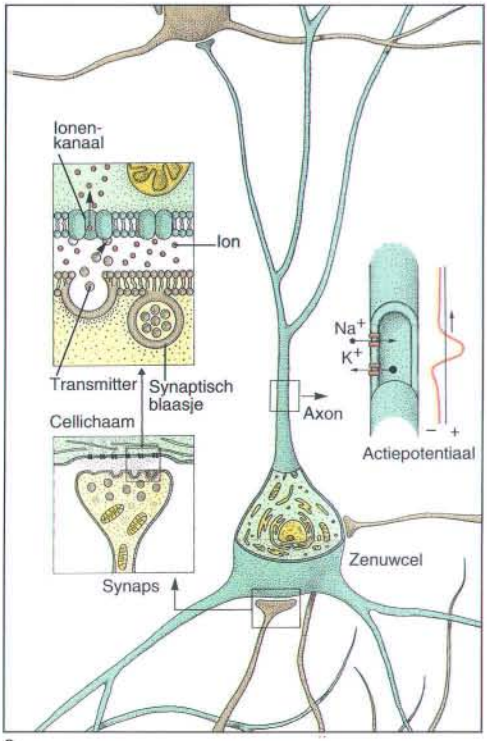
Klein en belangrijk

Om het belang van het bekroonde werk te begrijpen moeten we weten wat ionenkanalen betekenen voor een enkele cel en voor het gehele organisme. Cellen zijn door membranen (afb. 1) begrensde compartimenten gevuld met een waterige oplossing van stoffen (het cytosol) waarin zich allerlei celorganellen bevinden. Alle planten en dieren zijn opgebouwd uit cellen. In feite zijn cellen de basiseenheden waaruit levende wezens bestaan. Een cel leeft, ademt, voedt zich, scheidt uit, verbrandt, groeit en deelt, verandert van vorm en beweegt. Bij dit alles moet de kwaliteit van het binnenmilieu van de cel worden bewaakt om de celorganellen goed te laten functioneren. Dat binnenmilieu staat echter niet los van de omgeving van de cel; er bestaat via ionenkanalen een voortdurende wisselwerking tussen cel en buitenwereld. Ionenkanalen zijn eiwitten die voorkomen in de membraan van cellen. Ze zijn meestal selectief doorlaatbaar voor bepaalde soorten ionen.

3. Een zenuwvezel maakt contact met een andere cel via een synaps, een spleet tussen beide cellen. Transmitters geven het signaal over deze spleet door. De transmittermolekulen werken als een sleutel die ionenkanalen op de volgende cel openen. Die kanalen laten daarop ionen door en de membraanpotentiaal stijgt. Zodra de potentiaal stijgt openen zich even verder nieuwe kanalen die natriumionen binnenlaten, zodat ook daar de potentiaal stijgt. Zo kan een signaal zich langs de membraan voortplanten. De rustsituatie herstelt zich onder andere doordat kaliumionen naar buiten kunnen.



4

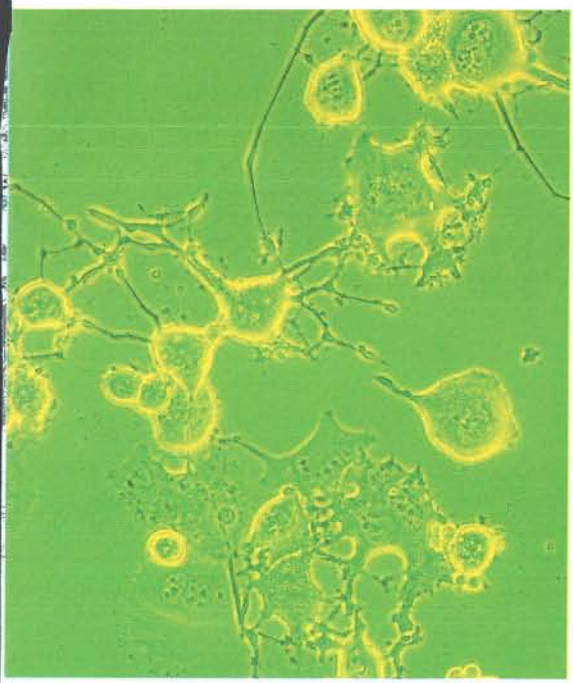


3

Pompen en lekken

Elk meercellig organisme begint het leven als een bevruchte eicel, dus als een ééncellig wezen. Zo'n enkele cel maakt direct contact met zijn buitenwereld. Tijdens de embryonale ontwikkeling tot meercellig individu krijgen allerlei cellen contact met elkaar; er ontstaan weefsels en organen. Er moet dus taakverdeling en specialisatie zijn opgetreden. Cellen die eerst 'pompten of verzopen' in de buitenwereld, moeten nu hun inwendig milieu handhaven temidden van en samen met broeder- en zustercellen. Dit gaat onder andere gepaard met verandering van aantallen en soorten ionenkanalen. 'Pompen en lekken' verandert in *communiceren.*

Communicatie kan langs en 'door' celmembranen plaatsvinden. In zenuwvezels vindt communicatie langs de membraan plaats. Een zenuwvezel in rust heeft een gepolariseerde membraan, waarbij de binnenkant 70 mV negatief is ten opzichte van de buitenkant. Zodra de vezel een signaal moet doorgeven, ontstaat er een *actiepotentiaal*: ionenkanalen laten Na^+ binnen, waardoor de binnenkant even positief



4, 5 en 6. Neuroblastomacellen (4) zijn van tumorcellen afgeleide zenuwcellen. Ze blijven zich in een kweek vermenigvuldigen, terwijl ze de membraaneigenschappen van zenuwcellen behouden. In een patch-clampopstelling (6) is een micropipet op zo'n neuroblastomacel geplaatst. De stroom door één ionenkanaal werd zo geregistreerd (5). In de registratie valt het digitale karakter van een ionenkanaal op. Er kan uitsluitend wèl of géén stroom lopen.

5

6

geladen wordt. Onmiddellijk daarop laten andere kanalen K^+ naar buiten stromen, waardoor de oorspronkelijke ladingsverdeling zich herstelt. De voortgeleiding van actiepotentialen wordt gedragen door *spanningsafhankelijke ionenkanalen* in de celmembraan. Dat wil zeggen: doordat aangrenzende Na^+-kanalen opengaan tengevolge van de potentiaalverandering, plant de actiepotentiaal zich razendsnel voort langs de membraan van de zenuwvezel. Zij kan meters overbruggen in enkele honderdsten van een seconde.

Communicatie 'door' de membraan vindt plaats wanneer boodschapperstoffen afkomstig van de ene cel de andere cel bereiken. Hormonen en neurotransmitters zijn dergelijke boodschappers. In dat geval wordt de signaaloverdracht verzorgd via receptorgestuurde ionenkanalen, kanalen waarvan de 'klep' zich opent of sluit wanneer de receptor op het kanaaleiwit een boodschappermolekuul aan zich bindt. Patch-clamp maakt de eigenschappen van zowel spanningsafhankelijke als *receptorgestuurde ionenkanalen* zichtbaar. Daarmee is het fundament van de celcommunicatie toegangelijk gemaakt voor onderzoek.

Als ionen zich verplaatsen, verplaatst zich elektrische lading: er loopt een elektrische stroom. Elektrische stromen zijn meetbaar aan de hand van de potentiaalverschillen die ermee gepaard gaan. Dat geldt ook in het lichaam. Kringstromen van hersen-, hart-, of spiercellen bijvoorbeeld, worden als elektro-encefalogram (EEG), elektrocardiogram (ECG) of als elektromyogram (EMG) gemeten. In 1924 kreeg Einthoven een Nobelprijs voor zijn volledige registratie van de hartspieractiviteit.

Elektrofysiologen proberen sinds jaar en dag steeds preciezer en fijner te meten. Zo worden EEG's en ECG's aan de buitenkant van het organisme opgenomen. Spanningen over celmembranen worden met behulp van micropipetten gemeten. Hodgkin en Huxley kregen voor dat werk in 1963 een Nobelprijs, Katz in 1970. Voor het meten van stromen door een enkel ionenkanaal zijn sinds 1976 aangepaste micropipetten in gebruik. Deze drie voorbeelden zijn kenmerkend voor de algehele ontwikkeling van de levenswetenschappen: de aandacht verschuift van het organismale niveau naar het subcellulaire en molekulaire. Ook in de elektrofysiologie gebeurde dit.

Voltage-clamp

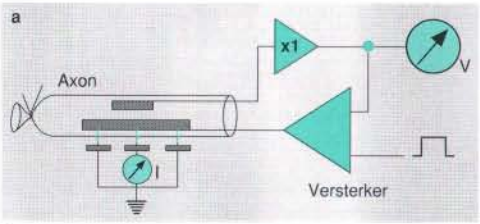
Elektrofysiologen zijn altijd gefascineerd geweest door het fenomeen actiepotentiaal. Toen zij uit vergelijking van de membraanpotentiaal met de ionenconcentraties ter weerszijden van de membraan eenmaal hadden afgeleid dat de membraan selectief ionen doorliet, wilden ze dat ook elektrisch meten. Voor de 'rustsituatie' was dit niet moeilijk; voor de verschillende fasen van de actiepotentiaal echter was het onmogelijk te bepalen welke ionen een bijdrage leverden. Wanneer een actiepotentiaal eenmaal is opgewekt is het verloop ervan niet meer te stuiten; een lawine-achtige uitwisseling van ionen raast voort langs de membraan.

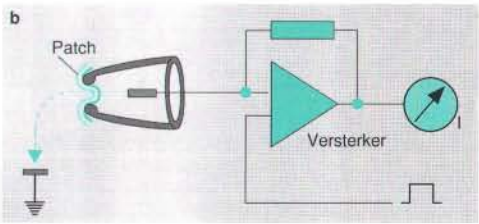
De voltage-clampmethode (afb. 7) is ontwikkeld om deze lawine te bedwingen en als het ware te bevriezen door de elektrische verschijnselen te compenseren met een tegenstroom. Via een regelkring wordt over de membraan een bepaald potentiaalverschil aangelegd. De stroom die daarvoor nodig is, is evenredig met de doorlaatbaarheid voor bepaalde ionen bij die membraanspanning. Door nu tijdens de meting de ionenconcentraties van de buiten- en de binnenoplossing te manipuleren, kan worden bepaald welk ion tijdens een bepaalde fase van de zenuwimpuls door de membraan stroomt. De doorlaatbaarheid van de membraan bleek voor Na- en K-ionen selectief te variëren, afhankelijk van de spanning.

Ionenstroom door één kanaal

Bij patch-clamp wordt de voltage-clamptechniek toegepast op een stukje membraan, vastgezogen op een micropipet. Aangezien neurofysiologen al jarenlang vertrouwd waren met het fenomeen actiepotentiaal, een vloeiend verlopende potentiaalverandering van -70 mV naar +30 mV en weer terug, was het een grote verrassing dat de ionenkanalen een heel ander gedrag vertoonden. Ze staan open of dicht, zonder dat van een individueel kanaal vooraf kan worden vastgesteld wanneer het zich in welke toestand bevindt. Die onvoorspelbaarheid laat zich vergelijken met het verval van individuele kernen in radioactive stoffen.

Het elektrisch geleidingsvermogen van een enkel kanaal bleek voor elk type ionenkanaal een karakteristieke, constante waarde te bezitten. De stroompjes door een enkel kanaal liggen tussen enkele tienden (de huidige detectie-



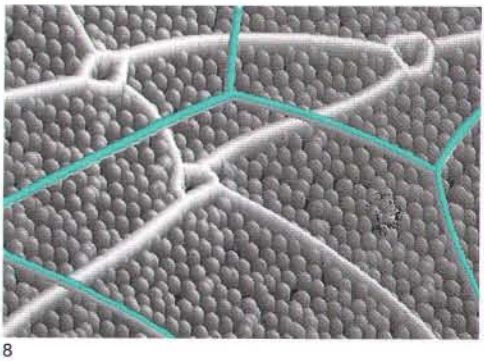


7

7. Tijdens de actiepotentiaal verandert de doorlaatbaarheid van de membraan voor ionen. Met de voltage-clampmethode (a) wordt actiepotentiaal als het ware bevroren, zodat bij verschillende waarden van de membraanpotentiaal de stroom van bepaalde ionen kan worden gemeten. De doorlaatbaarheid blijkt afhankelijk van de spanning over de membraan. Patch-clamp is een verfijnde voltage-clamp op een stukje membraan. De ionenstroom door één of enkele kanalen kan in de patch-clampopstelling (b) worden gemeten.

8. Er bestaan ionenkanalen die gevoelig zijn voor bewegingen. Een netwerk vlak onder de membraan geeft die door aan de receptoren. Het drukt de kanalen als het ware open. Waarschijnlijk speelt dit een grote rol bij de tastzin.

9. Bert Sakmann bewerkt met een gloeidraad de tip van een micropipet. Naast hem staat Erwin Neher.



8

9

grens) en enkele honderden pico-ampère (10^{-12} A). Afhankelijk van de grootte van de stimulus kunnen zowel de gemiddelde frequentie waarmee een kanaal opent en sluit als de gemiddelde duur van de open en gesloten toestand geleidelijk variëren. Hierdoor varieert ook de gemiddelde stroom door een groot aantal ionenkanalen geleidelijk.

Belang

Ionenkanalen verzorgen het contact tussen het inwendige van cellen en de buitenwereld en bepalen daarmee in grote mate wat een cel doet. Ze zijn betrokken bij de regulatie van allerlei cellulaire processen, en bij het transport van informatie tussen de cellen en tussen het organisme en de buitenwereld. Ionenkanalen zijn niet alleen verantwoordelijk voor overdracht van actiepotentialen in het zenuwstelsel, maar spelen ook een cruciale rol in talloze andere processen. Die lopen uiteen van de synchronisatie van hartspiercellen tot volumeveranderingen van sluitcellen waardoor huidmondjes in planten zich kunnen openen en sluiten.

Uiteindelijk bepalen ionenkanalen hoe adequaat een organisme kan reageren op vaak snel veranderende omstandigheden. Het is dan ook niet verwonderlijk dat honderden onderzoekers over de gehele wereld de eigenschappen van een veelheid aan kanalen in kaart proberen te brengen. Van een oorspronkelijk zuiver elektrofysiologische aangelegenheid heeft de patch-clamptechniek zich ontwikkeld tot een onmisbare schakel in het molekulair-biologisch onderzoek. Molekulair biologen kunnen de genen identificeren die voor een bepaald type ionenkanaaleiwit coderen, en deze vervolgens isoleren en transplanteren. Zij kunnen bovendien de genetische code aanpassen en zo één of enkele aminozuren van het eiwit gericht vervangen. Met de combinatie van deze techniek en patch-clamp wordt onder andere onderzoek verricht naar de relatie tussen structuur en functie van ionenkanalen. Mogelijk leidt zij eerdaags ook tot opheldering van de oorzaak van (soms erfelijke) ziekten die gepaard gaan met veranderingen van bepaalde typen ionenkanalen, zoals taaislijmziekte (cystische fibrose) en sommige vormen van spierdystrofie.

Literatuur

Neher E. Elektronische Messtechnik in der Physiologie. Berlin: Springer, 1974.

Neher E, Sakmann B. Single channel currents recorded from denervated frog muscle fibers. Pfluegers Archiv. Eur. J. Physiol. 1976; 362 (suppl) R31.

Neher E, Sakmann B. Single channel currents recorded from membrane of denervated frog muscle fibers. Nature 1976; 260: 799-802.

Sakmann B, Neher R. Single Channel Recording. New York: Plenum Press, 1983.

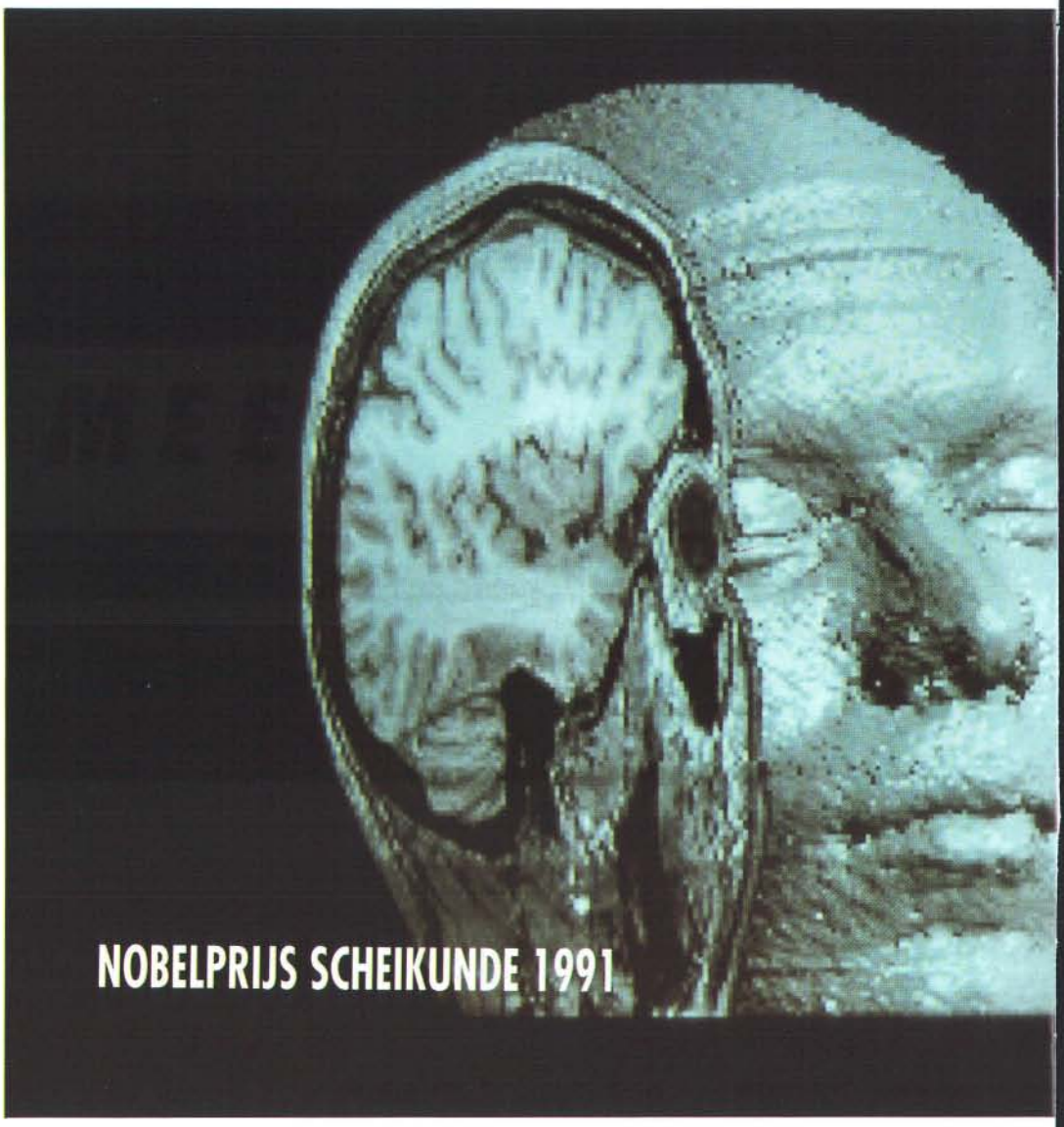
Takahashi T, Neher E, Sakmann B. Rat brain serotonin receptors in Xenopus oocytes are coupled by intracellular calcium to endogenous channels. Proc. Natl. Acad. Sci U.S.A. 1987; 84: 14, 5063-5067.

Penner R, Neher E. The patch-clamp technique in the study of secretion. Trends in Neurosciences 1989; 12: 4, 159-163.

Bronvermelding illustraties

Max-Planck-Gesellschaft, München, D: pag. 905 en 9.
F. Sachs, University at Buffalo, New York: 2 en 8
List Electronic, Darmstadt, D: I-2
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteurs.

MEERVOUDIG M



ETEN

Een chemisch laboratorium is niet meer denkbaar zonder één of meerdere NMR- spectrometers. NMR-spectroscopie is de analytische techniek bij uitstek voor het ophelderen van de structuur van organische molekulen. Daarnaast wordt de NMR-techniek ook steeds belangrijker voor de studie van vaste stoffen zoals polymeren. De laatste jaren kan men met NMR-spectroscopie zelfs de structuur bepalen van eiwitten en andere biomolekulen in waterige oplossing. Hoe kon iets dat begon als een interessant fysisch verschijnsel, in zo'n 45 jaar uitgroeien tot zo'n belangrijke techniek? Wij zullen deze ontwikkeling trachten te schetsen en daarbij in het bijzonder de rol van Richard Ernst belichten.

Vanaf de jaren zestig heeft Richard Ernst diverse bijdragen geleverd aan de ontwikkeling van de NMR-spectroscopie. Hij werd op het vliegveld van New York op de hoogte gebracht van zijn uitverkiezing, tijdens zijn reis naar een andere prijsuitreiking. Een van de toepassingen van de NMR-spectroscopie is de medische beeldvorming. Computers kunnen de meetgegevens verwerken tot een driedimensionaal beeld. Deze techniek heeft in de medische diagnostiek een hoge vlucht genomen.

R. Kaptein
Bijvoetcentrum, Rijksuniversiteit Utrecht

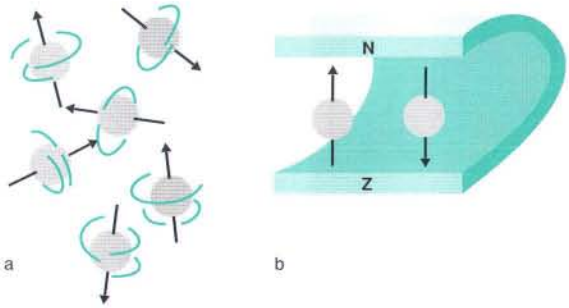
Veel atoomkernen draaien als tolletjes om hun as. We zeggen ook wel dat ze een kernspin hebben (Engels: to spin = tollen). Omdat atoomkernen een positieve lading hebben, veroorzaakt de draaiende beweging een klein magneetveld. Wat gebeurt er nu als we de atoomkern in een magneetveld brengen? Een kompasnaald richt zich maar op één manier in het magneetveld van de aarde. Kernmagneetjes die zich gedragen als een magnetische dipool kunnen zich soms op twee manieren in een magneetveld richten. Dit is afhankelijk van het quantumgetal dat we aan hun spin toekennen. Atoomkernen waarvan de spin gelijk is aan ½, zoals ^{1}H, ^{13}C en ^{31}P, kunnen zich op twee manieren richten, namelijk parallel aan het veld en antiparallel daaraan. Bij deze twee richtingen horen twee energieniveaus, een laag niveau bij een spin parallel aan het magneetveld en een hoog niveau als de spin antiparallel is. Het verschil in energie is afhankelijk van de sterkte van het magneetveld: hoe sterker het veld, des te groter het energieverschil. Door de kernen bloot te stellen aan straling met een bepaalde frequentie, die overeenkomt met dit energieverschil, kunnen we kernen van het lage naar het hoge niveau brengen. De stralingsfrequentie ν waarbij dit verschijnsel optreedt, noemen we de resonantiefrequentie.

Deze resonantiefrequentie verschilt niet alleen voor de diverse kernsoorten met spin ½, maar blijkt ook niet helemaal gelijk te zijn voor gelijke atoomkernen in een molekuul, bijvoorbeeld die van waterstof in ethanol. Dat komt doordat elke waterstofatoomkern een andere chemische omgeving heeft. Naburige atoomkernen, in dit voorbeeld die van het zuurstofatoom en de koolstofatomen, zijn elk omgeven door een elektronenwolk. Afhankelijk van de mate waarin die andere atoomkernen de elektronen aantrekken, is het magnetische veld van de waterstofatoomkernen meer of minder afgeschermd. De resonantiefrequentie verschuift hierdoor iets: er is sprake van een *chemische verschuiving.*

Het energieverschil tussen de twee kerntoestanden is maar zeer klein. Vandaar dat NMR de meest langgolvige vorm van spectroscopie is. De resonantiefrequentie bedraagt voor waterstofkernen, bij magneetvelden van 1,4 tot 14 tesla, tussen 60 en 600 MHz. Dit is het gebied van de *radiogolven.*

Het spectrum met resonanties die in een monster optreden, geeft informatie over de samenstelling daarvan. Een NMR-spectrum kan worden opgenomen door de frequentie ν te veranderen bij een constant magneetveld of door het magneetveld te veranderen bij een constante frequentie. In bijvoorbeeld een ^{1}H-NMR-spectrum van ethanol zien we dan een resonantiepiek voor elk proton in het molekuul (afb. 4).

In het ^{1}H-NMR-spectrum van ethanol zijn de pieken van de CH_3- en de CH_2-groep bovendien opgesplitst. Dat komt doordat de magnetische veldjes van naburige kernen elkaar beïnvloeden. We noemen dit de *spin-spin-koppeling.* De drie waterstofatomen in de CH_3-groep zorgen ervoor dat de resonantiepiek van de waterstofatomen in de CH_2-groep is opgesplitst in vier pieken. Omgekeerd is de resonantiepiek van de CH_3-groep gesplitst in drie pieken onder invloed van de naburige waterstofatomen. Omdat de waterstofatomen in de twee groepen elkaar beïnvloeden, hebben zij dezelfde afstand tussen de opgesplitste pieken. Dit is een belangrijk gegeven bij het ophelderen van de structuur van een verbinding.



1

2

3. Ontwikkelingen op het gebied van computers en magneten hebben NMR tot een succesvolle techniek gemaakt. Een moderne NMR-spectrometer bestaat uit een supergekoelde magneet, rechts op de afbeelding, waarin het monster wordt gebracht. Een computer verwerkt de radiosignalen die het monster uitzendt tot spectra die op het scherm kunnen worden bekeken.

3

Historisch perspectief

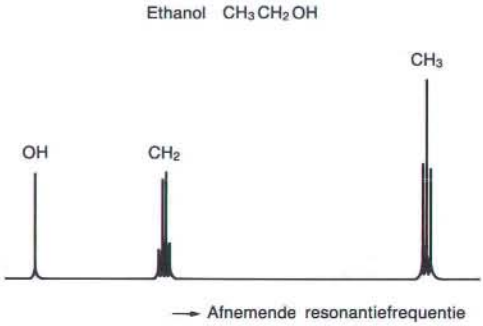
De natuurkundigen F. Bloch en E.M. Purcell ontdekten de kernspinresonantie in 1945. Ze kregen daarvoor in 1952 de Nobelprijs voor de natuurkunde. Het verschijnsel was echter al in de jaren dertig voorspeld door de Nederlandse fysicus C.J. Gorter van de universiteit te Leiden. Hij ondernam ook een tweetal pogingen om het effect te meten, maar slaagde hier niet in om een nogal tragische reden: hij werkte met te zuiver materiaal (lithiumfluoride). Daardoor duurde het erg lang voordat atoomkernen terugvielen naar het lagere energieniveau (relaxatie) en het radiosignaal was niet meer waar te nemen. Bloch en Purcell verrichtten hun metingen aan minder zuiver materiaal, namelijk paraffine-olie en gewoon leidingwater.

Aanvankelijk behoorde NMR tot het domein van de natuurkunde, maar toen Proctor en Yu in 1950 vonden dat de resonantiefrequentie afhangt van de chemische omgeving van de kernen (de chemische verschuiving), was het duidelijk dat NMR ook in de chemie een rol zou kunnen gaan spelen. Dat het zo'n belangrijke techniek werd, is niet alleen te danken aan een aantal technologische ontwikkelingen, zoals die op het gebied van magneetvelden en computers. Enkele innovatieve doorbraken, waaraan in het bijzonder Richard Ernst heeft bijgedragen, hebben een belangrijke rol gespeeld.

1. Kernen met spin $\frac{1}{2}$ gedragen zich als kleine magneten. In een sterk magnetisch veld kunnen ze twee standen innemen. De stand met de laagste energie is parallel aan het magnetisch veld gericht. De antiparallelle toestand heeft een hogere energie. Een radiopuls brengt kernen van een lager naar een hoger energieniveau. Bij terugvallen naar de evenwichtsstand zenden deze kernen een radiosignaal.

2. Voor het meten van de kernspinresonantie zijn sterke magneten nodig. De supergeleidende magneten die men gebruikt voor Magnetic Resonance Imaging (MRI), een techniek die is afgeleid van NMR, kunnen velden opwekken van twee tesla.

4. In het eendimensionale ^{1}H-NMR-spectrum van ethanol resoneren de waterstofkernen bij verschillende frequenties.



4

Puls-fouriertransform-NMR

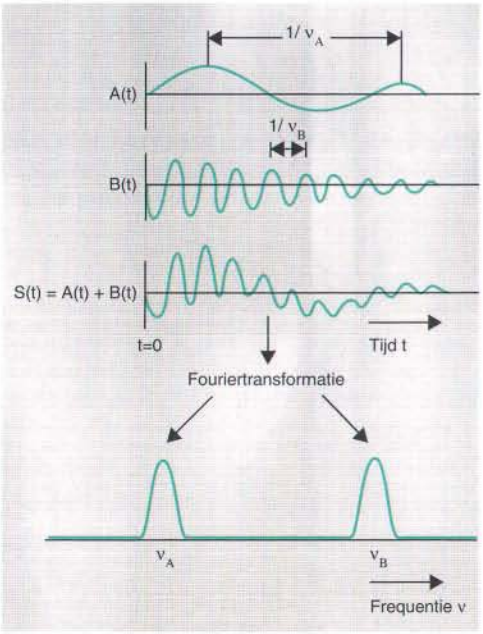
Richard R. Ernst, geboren in 1933 te Winterthur, studeerde en promoveerde aan de Eidgenossische Technische Hochschule (ETH) te Zürich. In 1963 ging hij werken bij het bedrijf Varian Associates in Palo Alto. Daar verrichtte hij met W.A. Anderson in 1965-1966 zijn baanbrekende onderzoek aan de puls-Fouriertransform-NMR. In de jaren zestig verkreeg men een NMR-spectrum altijd door of het magneetveld of de frequentie van de radiogolven langzaam te variëren en de energie-opname van het monster te registreren. De methode van Ernst en Anderson bestond uit het toedienen van een krachtige puls radiogolven aan een monster. Vervolgens legden zij de radiogolven vast die het monster uitzendde en analyseerden ze daarna de aanwezige frequenties daarin door middel van een fouriertransformatie (afb. 5 en 6).

Aangezien tegenwoordig vrijwel alle NMR-spectrometers (behalve kleine routineapparaten) met de puls-fouriertransformatie werken, kunnen we ons nauwelijks meer een voorstelling maken van de moeilijkheden die toen optraden. Zo moest na de radiopuls de *free induction decay* (FID), ofwel het signaal dat ontstaat als diverse atoomkernen terugvallen naar het lagere energieniveau, eerst in een hulpcomputer worden opgeslagen. Na overbrengen van de gegevens via een papieren ponsband naar een grotere computer, kon de fouriertransformatie worden uitgevoerd.

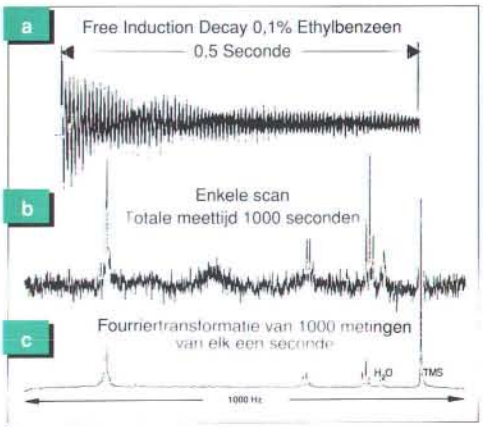
Het grote belang van het experiment was dat een onderzoeker een spectrum op deze manier honderd maal zo snel kon opnemen. Hierdoor werden tijdsafhankelijke metingen mogelijk, zoals bijvoorbeeld het volgen van chemische reacties. Nog belangrijker was echter dat deze nieuwe methode maar liefst tien keer zo gevoelig was als de oude. Dit bereikten Ernst en Anderson door het meetsignaal herhaaldelijk vast te leggen en de ruis daarbij uit te middelen. Tenslotte maakte het pulsexperiment de weg vrij voor de volgende grote stap voorwaarts: de ontwikkeling van de tweedimensionale NMR-spectroscopie.

Twee en meer dimensies

Ondanks de enorme vooruitgang die de puls-fouriertransform-NMR betekende, beperkte het gebruik van NMR zich tot oplossingen van kleinere molekulen. Voor het bestuderen van grotere molekulen was de gevoeligheid van de



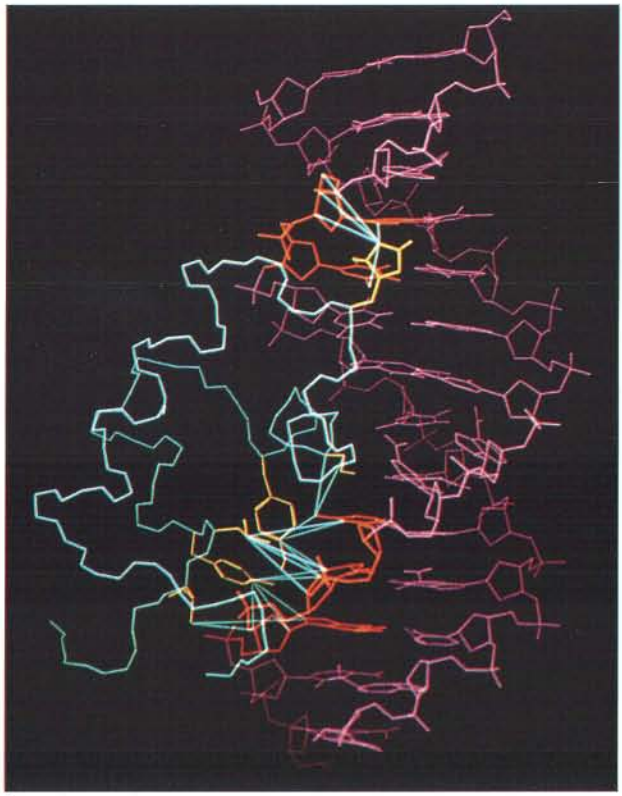
5



6

5. Twee signalen met frequenties ν_A en ν_B leveren samen een golfpatroon. Uit de fouriertransformatie volgt bij welke frequenties signalen voorkomen. De piekgrootte hangt af van het aantal kernen dat een signaal levert.

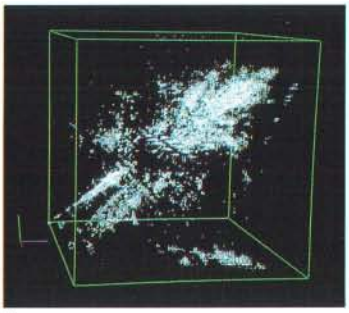
6. De fouriertransformatie van 1000 FID's (a) leverde Ernst in de jaren zestig een duidelijk 1H-NMR-spectrum van ethylbenzeen op (c). Dit scheelde nogal wat met een klassieke scan (b). Tetramethylsilaan (TMS) levert de referentiepiek.



7

7. De structuur van een eiwit-DNA-complex bepaald met 2D-NMR Het lac-repressoreiwit van een E. coli-bacterie herkent specifiek een bepaalde DNA-volgorde die we de lac-operator noemen. Het DNA-bindende deel van het eiwit vormt met 14 baseparen van het DNA een complex waarvan de structuur met 2D-NMR is opgelost door de NMR-groep van het Bijvoet Centrum te Utrecht.

8. Het eiwit parvalbumine bevat 109 aminozuren. In een proton-3D-NMR-spectrum van het eiwit, dat in enkele dagen is opgenomen, zien we enkele duizenden pieken. Dit biedt een grote resolutieverbetering ten opzichte van 2D-NMR.



8

methode te laag en dientengevolge het oplossend vermogen te beperkt. De introductie van een tweede spectrale dimensie in het begin van de jaren zeventig was voor dit probleem een doorbraak van de eerste orde. De Brusselse professor J. Jeener lanceerde het idee voor 2D-NMR in 1971 op een Ampère-congres. Bij 2D-NMR krijgt een monster kort achter elkaar twee radiosignalen te verwerken. In het spectrum staan meestal op beide assen de chemische verschuiving uitgezet. Een andere mogelijkheid is het uitzetten van de chemische verschuiving tegen de spin-spin-koppeling. De structuur van een verbinding is uit tweedimensionale spectra veel eenvoudiger af te leiden dan uit een 1D-NMR-spectrum. Het idee werd daarna snel door onder andere Ernst opgepikt en ontwikkeld tot een buitengewoon krachtige methode. Ernst werkte inmiddels weer bij de ETH in Zürich. Hoewel Jeener het oorspronkelijke werk nooit heeft gepubliceerd, is het typerend voor Ernst (want het is helaas niet algemeen gebruikelijk) dat hij toch altijd naar het idee van Jeener heeft gerefereerd.

Toen rond 1980 de eerste 500 MHz-spectrometers verschenen, kon men op basis van 2D-NMR een methode uitwerken voor het maken van resonantietoekenningen van eiwitspectra. Dit leidde rond 1985 tot de eerste volledig met NMR opgehelderde, 3D-structuren van eiwitten. Afbeelding 7 toont een eiwit-DNA-complex waarvan de structuur met 2D-NMR is bepaald.

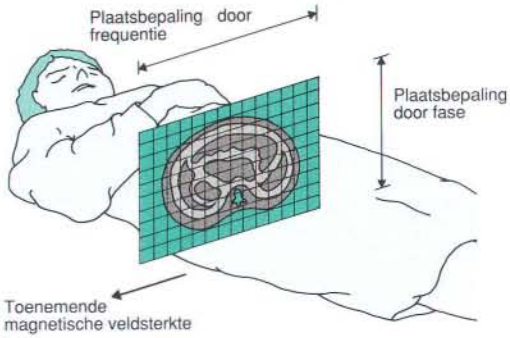
Verdere verbetering van het oplossend vermogen is mogelijk door de introductie van een derde dimensie (zie afb. 8). Ook hier was het weer de groep van Ernst die het pionierswerk verrichtte. Ernsts onderzoek beperkte zich echter niet alleen tot de hoge-resolutie-NMR. Ook aan het vaste-stofonderzoek en de beeldvormende NMR (*magnetic resonance imaging* of MRI) heeft hij fundamentele bijdragen geleverd. Thans is hij hoogleraar Fysische Chemie bij de ETH te Zürich. In 1987 heeft hij een stan-

daardwerk op het gebied van NMR gepubliceerd (*Principles of NMR in One and Two Dimensions*). Richard Ernst is tevens reservekolonel in het Zwitserse leger. Aangezien dit laatste in Zwitserland een even gebruikelijke als serieuze zaak is en reservisten tot op hoge leeftijd elk jaar worden opgeroepen, geeft hij soms zijn lezingen in uniform.

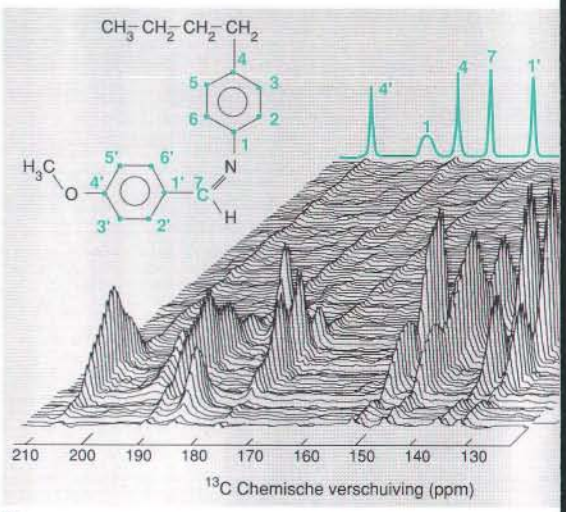
Vooruitgang

De toepassingsmogelijkheden van de NMR-techniek breiden zich nog steeds uit. Zo biedt de ontwikkeling van de multidimensionale NMR de mogelijkheid steeds grotere biomolekulen te bestuderen en daarmee belangrijke problemen uit de molekulaire biologie aan te vatten. Na 3D-NMR zijn intussen ook al de eerste 4D-NMR-spectra gepubliceerd en het einde van deze ontwikkeling is nog niet in zicht. In de medische wereld is de beeldvorming door MRI gemeengoed geworden en lijkt de volgende stap te bestaan uit een combinatie van MRI met spectroscopie. Zo zal men het gedrag en de verdeling van belangrijke stofwisselingsprodukten kunnen meten.

Belangrijk is ook de technologische vooruitgang. Aan de ene kant zijn er steeds snellere computers die de enorme gegevensbestanden bij 3D- en 4D-NMR-spectroscopie moeten opslaan en verwerken. Anderzijds ontwikkelt



9

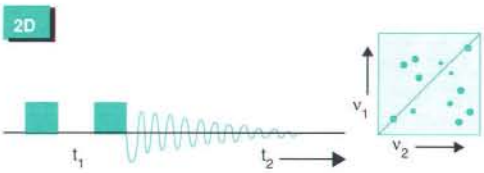


10

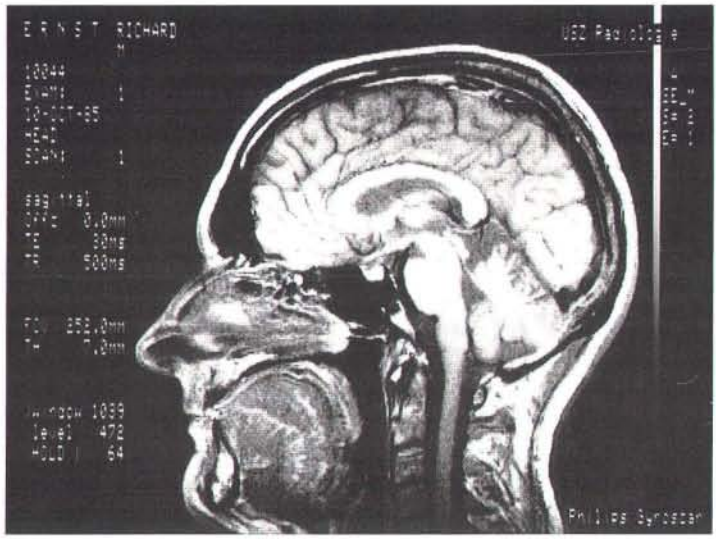
NMR in drie dimensies

Bij het ophelderen van de structuur van een verbinding, kan men met puls-fouriertransform-NMR in een, twee of drie dimensies werken. Een korte puls radiogolven omvat een frequentiegebied van enkele kiloHerz rond de draaggolf. Dit is voldoende om in een monster alle kernen van een bepaalde soort (bijvoorbeeld waterstofatomen) aan te slaan. Het signaal dat het monster uitzendt, de respons, is een gecompliceerd tijdsafhankelijk signaal. Dit wordt met behulp van een fouriertransformatie omgezet in het NMR-spectrum.

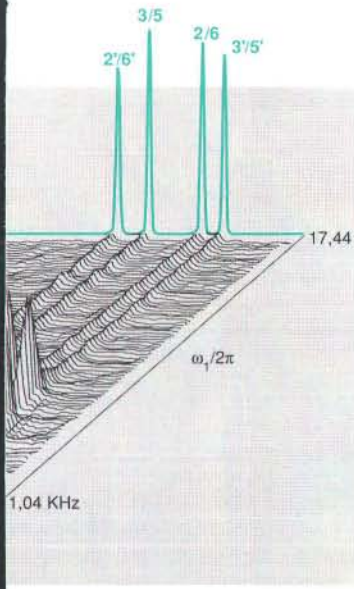
Bij 2D-NMR worden tenminste twee radiopulsen gegeven. Er wordt een serie FID's gemeten, bijvoorbeeld 500, voor verschillende tijdsduren t_1 tussen de pulsen. Het 2D-NMR-spectrum volgt dan uit een tweedimensionale fouriertransformatie, waarbij langs beide assen de chemische verschuivingen tegen elkaar worden uitgezet.



9 en 11. De bijdragen van Ernst aan de NMR-techniek hebben ook geleid tot een medische toepassing van de kernspinresonantie. De MRI-techniek registreert de dichtheid van bepaalde kernen in een vlak (9). Zo ziet het hoofd van een Nobelprijswinnaar er van binnen uit (11). De signalen waarmee deze MRI-scan is gemaakt, zijn afkomstig van de waterstofkernen in water en vet.



11



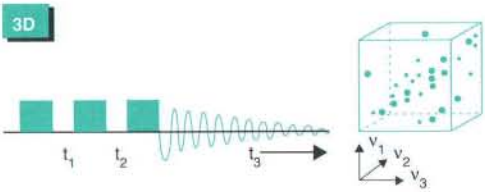
10. Een 2D-^{13}C-NMR-spectrum van een vloeibaar-kristalmolekuul in de nematische fase (zie pag. 900) is hier gecombineerd met een 1D-spectrum. Het 1D-spectrum toont enkel de chemische verschuiving van de aromatische koolstofatomen.

men steeds sterkere magneten, die toch aan zware eisen van veldhomogeniteit en stabiliteit moeten voldoen. De volgende stap naar 750 à 800 MHz-spectrometers verwacht men binnen één à twee jaar. NMR is hiermee tevens 'big science' geworden, waarbij de nieuwe generatie top-apparaten vele miljoenen guldens gaat kosten. Dat NMR in dit aspect weer meer bij de fysica terecht komt, maakt de cirkel weer rond.

INTERMEZZO

Bij 3D-NMR wordt het zelfde principe gevolgd. Nu worden de FID's echter gemeten als functie van twee tijdvariabelen, t_1 en t_2. In een 3D-spectrum verschijnen de pieken in een kubus.

I-1. Als een signaal van meer variabelen afhangt, kan het resultaat na fouriertransformatie in meer dimensies worden weergegeven.



Literatuur

Chimia 26 (1972), 53-64.
Veemans WS. Spectrometrische methoden - NMR/ESR. Natuur & Techniek 1985; 53:3, 178-197.

Bronvermelding illustraties

Dr MJ Peters, TU Twente: pag. 912-913.
Siemens, 's-Gravenhage: 2.
Bruker Spectrospin, Wormerveer: 3.
Naar: Chimia 1972; 26, 53-64: 6.
NMR-groep, Bijvoet Centrum, Utrecht: 7.
R Boelens, GW Vuister en A Padilla, Bijvoet Centrum, Utrecht: 8.
Uit: Calder N, Martens T, red. Wetenschap en technologie in Europa. Maastricht: Natuur & Techniek, 1990: 9.
Dr Luciano Müller: 10.
Prof G von Schulthess, universiteitsziekenhuis Zürich: 11.
De afbeeldingen 10 en 11 werden ons beschikbaar gesteld door prof dr R.R. Ernst, ETH, Zürich.

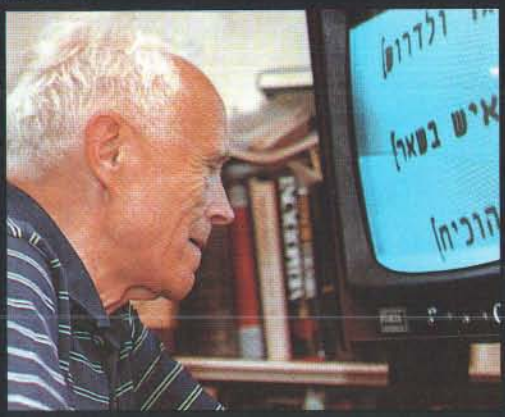
A.S. van der Woude
Faculteit der Godgeleerdheid
Rijksuniversiteit Groningen

Vijfenveertig jaar na hun vondst zijn de Dode-Zeerollen nog steeds niet allemaal vrijgegeven. Ben Zion Wacholder, die enkele oude geschriften met behulp van een computer onderzoekt, was het wachten beu en heeft alvast zijn voorlopige resultaten gepubliceerd. Het lijkt er nu op dat ook

DE DODE-ZEE ROLLEN

BERICHT UIT JEZUS' TIJD

In 1947 verklaarde mijn hoogleraar bijbelse archeologie op zijn colleges dat er in Palestina nooit oude handschriften zouden worden ontdekt. Het klimaat was er niet naar. Rollen uit het begin van onze jaartelling zouden al lang zijn vergaan. Als je dus in Palestina 'oude' handschriften kreeg aangeboden, moest je er op rekenen dat zij de vorige dag waren geschreven. De professor kon niet vermoeden dat er in datzelfde jaar in een grot bij Qumrân documenten van voor Jezus' tijd zouden worden gevonden.

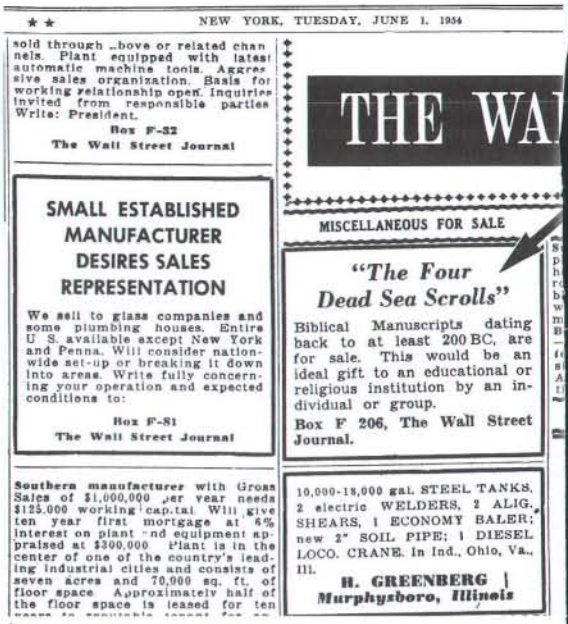


de laatste rollen het komende jaar openbaar worden gemaakt, nadat de Huntingtonbibliotheek te Pasadena onlangs aan onderzoekers vrij toegang tot de negatieven van deze geschriften heeft gegeven. Een van de niet-Bijbelse rollen is de hier afgebeelde 'Sekteregel'.

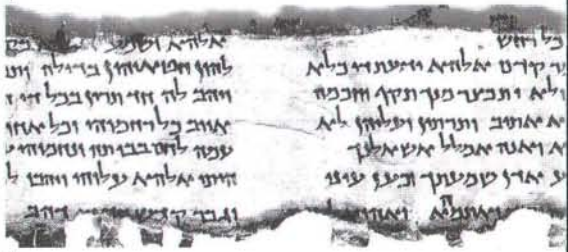
Tot 1948 waren de archeologen ervan overtuigd dat het onmogelijk was om in Palestina oude geschriften te vinden. Een Israëlisch geleerde en een aantal professoren van de American School of Oriental Research te Jeruzalem overwonnen dit vooroordeel, toen zij enkele handschriften onder ogen kregen die waren gevonden aan de westkust van de Dode Zee. Een Amerikaanse geleerde bracht zijn grote enthousiasme over de ontdekking van de *Dode-Zeerollen* tot uitdrukking door te spreken van de grootste handschriftenvondst van deze eeuw. Lettend op latere ontdekkingen is zijn uitspraak wellicht wat overdreven, maar de vondst is toch opzienbarend te noemen: we beschikken voor de eerste maal over joodse handschriften uit de tijd rondom het begin van onze jaartelling. Deze geschriften werpen een nieuw licht op de jongste boeken van het Oude Testament, de literatuur en godsdienst van het vroege jodendom en de wereld van het Nieuwe Testament. Geen wonder dus dat de rollen tot de verbeelding van een groot publiek spreken.

De vondsten

Jeugdige bedoeïenen vonden de eerste handschriften, drie in getal, in een grot ten noorden van Qumrân (spreek uit: Koemraan, met klemtoon op de laatste lettergreep) bij de noordwestelijke punt van de Dode Zee, en brachten ze naar Betlehem. Uiteindelijk kocht de antiquair Kando de geschriften en verkocht deze voor nog geen 200 gulden of 3600 franken aan de Syrisch-Orthodoxe bisschop van Jeruzalem. Intussen vonden enkele bedoeïenen die naar de grot waren teruggegaan, de resten van vier andere rollen. Via een handelaar kwamen er drie in het bezit van een hoogleraar aan de Hebreeuwse universiteit van Jeruzalem, die als één van de eersten ontdekte dat de manuscripten echt en van oude datum waren. Tot dezelfde conclusie kwamen geleerden van de American School of Oriental Research. De bisschop bracht daarop zijn rollen naar de Verenigde Staten, waar hij ze verkocht voor een kwart miljoen dollar. Zij kwamen in Israëlische handen en werden uiteindelijk in 1965 met de eerder verworven documenten ondergebracht in het *Shrine of the Book*. Dit is een museumgebouw in Jeruzalem, dat de vorm heeft van de deksel van de kruiken waarin de eerstgevonden rollen zich bevonden (afb. 10).



1



2

De woestijn uitgekamd

Na de Israëlische onafhankelijkheidsverklaring van 1948 en de daarop volgende oorlog, werd Palestina verdeeld in een Israëlisch en een Jordaans gedeelte. Met toestemming van de Jordaanse overheid, onder wier gezag het gebied van Qumrân viel, doorzochten westerse geleerden in de volgende jaren het gehele terrein, op zoek naar andere grotten die handschriften bevatten. In veel gevallen waren de bedoeïenen hen echter voor. Tot 1962 ontdekte men in tien andere grotten resten van manuscripten, die voor het overgrote deel werden verkocht aan het Jordaanse Rockefeller-museum in Oost-Jeruzalem. De eerder genoemde Kando verborg in zijn huis een grote, oorspronkelijk meer dan negen meter lange en betrekkelijk goed bewaarde rol, die nu als de Tempelrol bekend-

Entered as Second Class Matter at the Post Office, New York, N. Y. 10 CENTS

Write

LL STREET JOURNAL.

Copyright, 1956, by Dow Jones & Company, Inc.

FOR RENT OR LEASE

ummer rental in New Jersey, com-
etely private ranch cottage, 1½
ours from New York, secluded 5
om modern cottage, spring water,
azing riding trails through pine
oods, private pond. $800 per
onth.
ox F-185, The Wall Street Journal

deal for broker or local office out-
ate corporation. 600 feet Ave. of
mericas at 57th St. Hotel connec-
on. $2400 CH. 4-4628.

REAL ESTATE FOR SALE

YACHT WORKS
Long Established Business
Located Northern Coast
Of New Jersey.
Fully Equipped:
Carpenter Shop
Woodworking Shop
Paint Shop
Machine Shop

1. Begin jaren zestig verscheen een advertentie in de Wall Street Journal, waarin enkele Dode-Zeerollen te koop werden aangeboden. De meeste van deze rollen waren toen al gepubliceerd. Van de vele geschriften die men bij de Dode Zee heeft gevonden, is tachtig procent inmiddels openbaar.

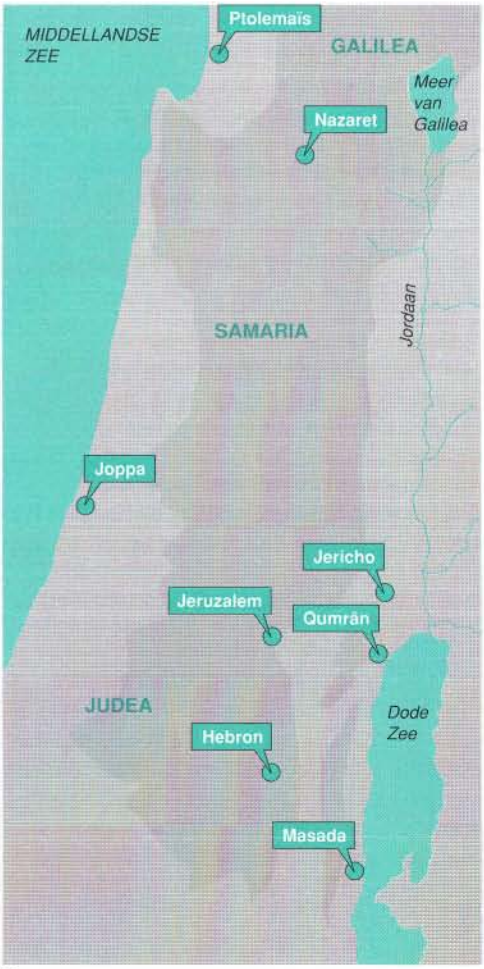
2. In Groningen hebben onderzoekers handschriften uit grot 11 bestudeerd. Dit fragment toont een Aramese vertaling van het boek Job. Het Aramees was in Jezus' tijd de volkstaal in Judea, Samaria en Galilea. In Syrië, Turkije en Irak zijn er nu nog streken waar men Aramees spreekt.

3. Qumrân was een kleine nederzetting bij de Dode Zee, gebouwd door Essenen, een Joodse sekte uit Jezus' tijd. Het lag nogal afgelegen. Reizigers uit Jeruzalem moesten eerst door de bergen trekken, waarna de weg afdaalde naar de droge en dorre kusten van de Dode Zee. Dankzij dat klimaat zijn diverse geschriften na tweeduizend jaar gedeeltelijk nog steeds leesbaar.

staat. De rol bleef bij hem liggen tot de Israëli's hem na de Zesdaagse Oorlog van 1967 in beslag namen. Het Rockefeller-museum raakte door de aankoop van de sterk in prijs gestegen handschriften in financiële moeilijkheden en verkocht derhalve het exclusieve bewerkings- en publikatierecht van de documenten aan diverse westerse wetenschappelijke instellingen. Voorwaarde daarbij was dat die instellingen de geschriften na de koop aan het museum zouden schenken. De Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen verwierf op deze wijze het bewerkings- en publikatierecht van een groot aantal handschriften uit grot 11, waaronder de *Job-targoem*. Een *targoem* is een omschrijvende Aramese vertaling van een bijbels boek – in dit geval het boek *Job* – dat oorspronkelijk in het Hebreeuws is overgeleverd.

Meer dan 800 handschriften

In totaal omvatten de rollen van de Dode Zee meer dan achthonderd handschriften. Sommige zijn nog vrijwel compleet, de meeste bestaan echter uit fragmenten. Het overgrote deel is afkomstig uit de grotten 1, 4 en 11. De best bewaarde geschriften stammen uit grot 1 doordat zij, in tegenstelling tot de manuscripten van grot 4 en 11, in potten waren opgeborgen en daardoor de tand des tijds beter konden weerstaan. De oudste documenten reiken terug tot in de derde eeuw voor Christus, de jongste zijn afkomstig uit de eerste helft van de eerste eeuw van onze jaartelling. De handschriften uit grot 4 zijn meer dan veertig jaar na de eerste vondsten



3

nog steeds slechts ten dele gepubliceerd, een feit dat een Engelse geleerde ertoe verleidde te spreken van "het grootste schandaal van deze eeuw"!

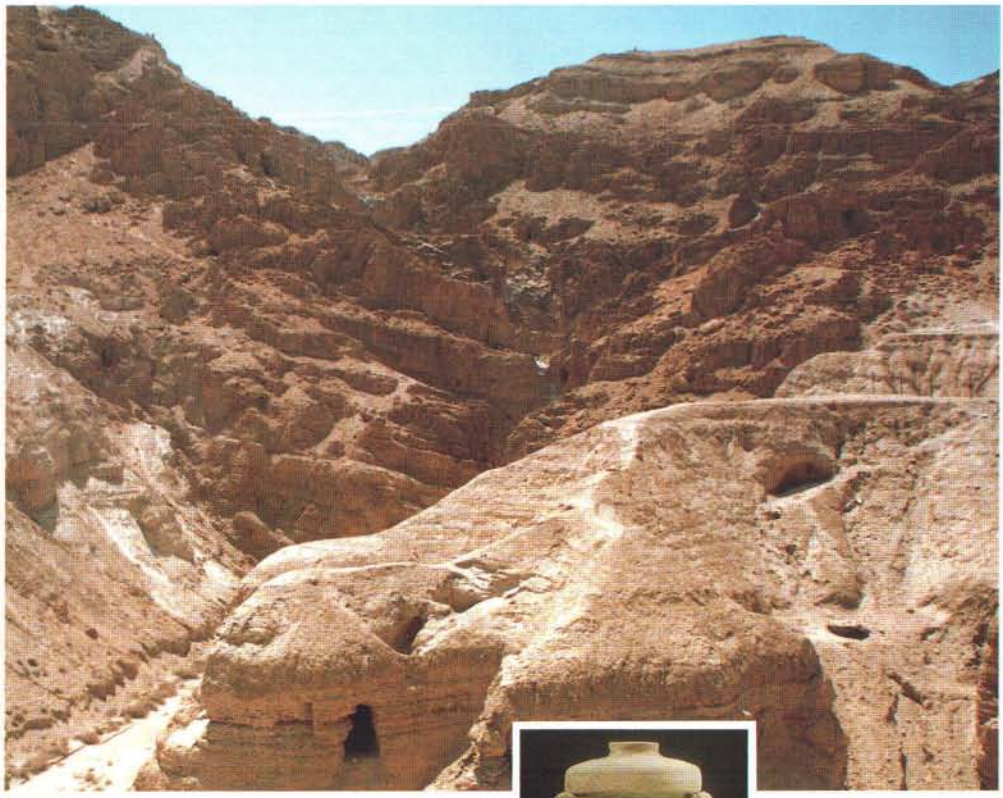
Hoewel de rollen afkomstig zijn van een kleine sektarische gemeenschap, zijn zij toch van groot wetenschappelijk belang, al zullen we ervoor moeten waken ze over de gehele linie als representatief voor het jodendom van Jezus' tijd en daarvóór te beschouwen. Christenen hebben oudjoodse geschriften vaak naar eigen inzichten en overtuigingen bewerkt en uitgebreid, het rabbijnse jodendom heeft de niet-bijbelse literatuur ter zijde geschoven. Met deze manuscripten hebben we nu authentieke vroegjoodse geschriften in handen, die niet aan christelijke of rabbijnse censuur zijn onderworpen. Voorgoed genezen de rollen ons van de gedachte dat het jodendom van Jezus' dagen een min of meer uniform verschijnsel is geweest: het was even veelkleurig als het hedendaagse christendom.

We bezitten thans handschriften van de Hebreeuwse bijbel die meer dan duizend jaar

DE VOORNAAMSTE HANDSCHRIFTEN

GROT 1	
■ De eerste Jesajarol	Bevat vrijwel de volledige tekst van het boek *Jesaja*
■ De tweede Jesajarol	Fragmenten van de tweede helft van het boek *Jesaja*
■ De Sekteregel	Aanwijzigingen voor het leven van de gemeenschap, haar instellingen en organisatie
■ De Gemeenschapsregel	Aanwijzigingen voor het leven van de gemeenschap in de messiaanse tijd
■ Zegenspreuken	Voor de gemeente en haar leidslieden
■ De Dankpsalmen	Liederen, ten dele stammend van de Leraar der Gerechtigheid
■ De Rol van de oorlog	Beschrijving van en de voorschriften voor de eindstrijd
■ De Habakkuk-commentaar	Op de eigen tijd betrokken uitleg van de eerste twee hoofdstukken van het boek *Habakkuk*
■ Het Genesis-apokryphon	Navertelling van bijbelse stof uit *Genesis* met talrijke toevoegingen
GROT 3	
■ De Koperen rol	Beschrijving van vindplaatsen van schatten
GROT 4	
■ Bijbelhandschriften	Onder andere een Exodusrol in Oud-Hebreeuws schrift en Samuëlrollen
■ Bijbelcommentaren	Onder andere op *Nahum* en *Psalm 37*
■ Henochhandschriften	Aramese fragmenten van het eerste Henochboek
■ Rollen met liederen	Liederen voor het sabbatsoffer
■ Beschrijvende rollen	Beschrijvingen van hemelse personen en voorwerpen
GROT 11	
■ De eerste Psalmenrol	Bijbelse psalmen met toegevoegde liederen
■ Leviticusrol	In Oud-Hebreeuws schrift
■ De Jobtargoem	Omschrijvende Aramese weergave van het boek van *Job*
■ De Tempelrol	Beschrijving van de ideale tempel en zijn offerdiensten benevens verschillende wetsvoorschriften

Dode Zee



4

5

4 en 5. Het verhaal gaat dat bedoeïenen de eerste rollen vonden, nadat één van hen stenen in een grot had gegooid. Nadat hij hoorde dat er iets brak, ging hij met een paar vrienden op onderzoek uit. Ze vonden een kruik waarin zich perkamenten bevonden. Ook troffen zij enkele vazen met deksels aan, waarin zich rollen bevonden.

ouder zijn dan de manuscripten waarop onze moderne bijbelvertalingen zijn gebaseerd. De ingewikkelde vraag hoe de Hebreeuwse bijbel is ontstaan en in de loop van de laatste eeuwen vóór het begin van onze jaartelling is overgeleverd, komt door de vondsten in een nieuw licht te staan. Ook onze kennis van de wijze waarop men destijds met de bijbeltekst omging en deze uitlegde, is door de rollen van de Dode Zee aanzienlijk vergroot. Al hebben we te maken met de bibliotheek van een zeer bepaalde groepering binnen het jodendom van die dagen, toch lichten de geschriften ons nader in over de religieuze opvattingen en tegenstellingen in Palestina gedurende de tijd rond het begin van onze jaartelling. In taalkundig opzicht bieden de rollen eveneens een belangrijke bijdrage, niet alleen voor de geschiedenis van het Hebreeuws, maar ook van het Aramees, de toenmalige volkstaal in Palestina. Zij dragen tenslotte bij tot een beter verstaan van de wereld van het Nieuwe Testament.

De gemeenschap van Qumrân

De vraag wie precies deel hebben uitgemaakt van de gemeenschap aan wie we de rollen van de Dode Zee te danken hebben, is nog steeds niet afdoende beantwoord. We weten dat het Palestijnse jodendom rondom het begin van onze jaartelling tenminste drie religieuze stromingen kende: die der *Farizeeën,* die der *Sadduceeën* en die der *Essenen.* De informatie die

Ontcijferingsmethoden

Doorgaans resten ons slechts een aantal grotere of kleinere fragmenten van de handschriften die in de omgeving van Qumrân zijn ontdekt. Voordat we de overgebleven tekst van een manuscript kunnen bestuderen, moeten we eerst vaststellen wat de onderlinge relatie van de brokstukken is. Aan de hand van een handschrift uit grot 11 kunnen we laten zien hoe we met gebruik van externe factoren de oorspronkelijke tekst kunnen reconstrueren. Het gaat daarbij om brokstukken van een manuscript dat we, op grond van de inhoud van de resterende tekst, *11QMelchisedek* hebben gedoopt.

Er zijn dertien fragmenten van dit handschrift bewaard gebleven die, gelet op het leer waarop de tekst is geschreven en de schrijfhand die zij vertonen, van één en dezelfde rol moeten stammen. Het grootste fragment meet tien bij zeven centimeter. Met het blote oog valt er niet veel aan te ontdekken, maar een infraroodfoto van het fragment laat een redelijk leesbare tekst zien. Het brokstuk is echter ontoereikend om op grond van de inhoud de verhouding tot de andere fragmenten af te leiden.

Bij het restaureren van een fragmentarisch overgeleverde tekst beginnen we met het nummeren van de fragmenten, waarbij bij voorkeur het grootste het cijfer 1 krijgt. De nummering is willekeurig en zegt uiteraard niets over de oorspronkelijke plaats van de bewaard gebleven brokstukken. De tweede stap is een hypothetische, althans in het geval van de hier behandelde fragmenten. Aangezien we op een aantal fragmenten de scheiding tussen twee kolommen nog zien, veronderstellen we dat alle fragmenten tot één van beide kolommen behoren. Dwingend is deze conclusie niet: het is immers denkbaar dat een gedeelte van de fragmenten tot voorafgaande of volgende kolommen behoort. Toch is dit minder waarschijnlijk. Het binnenste van een rol blijft namelijk langer bewaard dan de buitenkant. Door klimatologische invloeden vergaat de buitenkant eerder dan het binnenste gedeelte, tenzij het document niet stevig was opgerold en het bederf dus ook van binnen uit kon toeslaan. In het algemeen zijn resten van handschriften dus afkomstig van ongeveer dezelfde kolommen en behoren ze tot het slot van het oorspronkelijke geschrift.

Uitgaande van de veronderstelling dat de beschikbare fragmenten tot twee kolommen behoren, komen we tot de derde eenvoudige stap: als we op één of meer fragmenten de scheiding tussen de kolommen aantreffen, kunnen we op grond van die scheiding deze onder elkaar plaatsen. In ons geval komen de fragmenten 2 en 7 daarvoor in aanmerking. De vraag welk fragment boven het andere moet liggen, laat zich eenvoudig oplossen. Het leer van fragment 1 is namelijk naar boven toe donkerder gekleurd. De zwarte bovenrand van fragment 2 pleit er dus voor fragment 7 onder fragment 2 te plaatsen. De afstand tussen beide blijft voorlopig echter onbepaald.

Een soortgelijk criterium heeft betrekking op de onbeschreven boven- en onderkant van een kolom. In ons geval komt alleen de onderkant in aanmerking. Als wij uitgaan van de resten van één kolom, behoren de fragmenten 3, 8 en 9 tot de onderkant, zonder dat hun volgorde voorlopig vaststaat.

Een volgend criterium is de kleur van het leer. Zwarte donkere gedeelten wijzen op eenzelfde hoogte van een kolom. Op basis daarvan kunnen we de fragmenten 2 en 6 ongeveer naast het bovenste gedeelte van fragment 1 plaatsen, natuurlijk weer op voorwaarde dat alle tot één kolom behoren.

Ook gaten in de fragmenten, mogelijk veroorzaakt door ongedierte, kunnen een belangrijke aanwijzing vormen. Bij een opgerold geschrift verwachten we dat deze op dezelfde hoogte optreden. Daarom zal fragment 6 links van fragment 1 behoren, omdat op fragment 1 de rechtermarge gedeeltelijk bewaard is gebleven (men schrijft in het Hebreeuws en het Aramees van rechts naar links).

Tenslotte passen sommige fragmenten op elkaar. Zo past de linkerrand van fragment 3 op de rechterrand van fragment 8. Bovendien vertonen beide de onbeschreven onderrand van de kolom. We kunnen fragment 8 dus links van fragment 3 plaatsen.

De genoemde criteria geven aan dat we in vele gevallen al op zuiver externe gronden kunnen vermoeden waar overgebleven fragmenten oorspronkelijk hun plaats hadden, nog voordat we de tekst hebben gelezen.

De tekstlectuur kan deze gegevens aanvullen. Een gelukkige omstandigheid is dat ook niet-bijbelse geschriften vaak bijbelcitaten of bijbelse uitdrukkingen bevatten. Deze kunnen aanwijzingen geven voor de exacte plaatsing van fragmenten, wanneer een citaat op één fragment begint en op een ander verder gaat. Dat is ook hier het geval. Als we regel 10 op fragment 1 bekijken, dan lezen we daar in vertaling: "over hem in de psalmen van David, die

I-1

zegt: God", waarna de tekst afbreekt. Aan "over hem" zal overeenkomstig het woordgebruik van Qumrân voorafgegaan zijn: "zoals geschreven staat". Van het citaat is ongelukkig genoeg enkel het woord "God" leesbaar. Dat woord komt talloze malen in de Psalmen voor en geeft als zodanig geen aanwijzing over de aangehaalde tekst. Maar nu komt ons de formele analyse te hulp, op grond waarvan we veronderstelden dat we fragment 6 op de hoogte van het middelste gedeelte van fragment 1 kunnen plaatsen. Op regel 6 van fragment 6 lezen we: "te midden van de goden houdt Hij gericht". Van een oudtestamenticus wordt verwacht dat hij of zij daarin direct *Psalm 82:1* herkent: "God staat in de vergadering van de goden, te midden van de goden houdt Hij gericht". Het citaat, waarvan het begin op fragment 1 en het slot op fragment 6 staat (men leest van rechts naar links!), stelt ons nu in staat op grond van de Hebreeuwse tekst van de aanhaling de oorspronkelijke plaats van fragment 6 ten opzichte van fragment 1 exact vast te stellen.

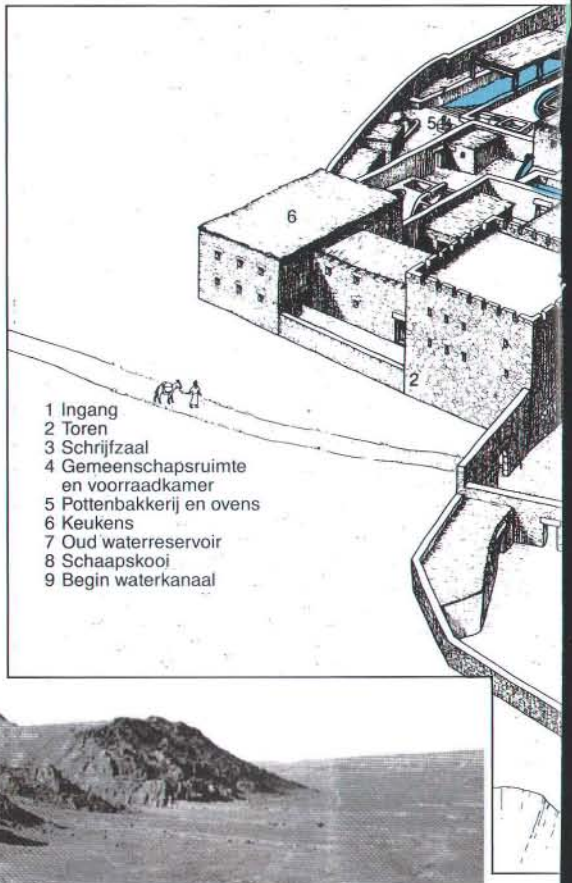
We kunnen nu ook op zoek gaan naar eventuele resten van het citaat die niet op deze twee fragmenten voorkomen. Het kleine fragment 12 bevat inderdaad de laatste letters van "staat" en de eerste van "in de vergadering", waardoor we ook dit fragment precies kunnen plaatsen. Aangezien, zoals gezegd, vóór "over hem in de psalmen van David" in de Qumrânse teksten vaak de woorden "zoals geschreven staat" staan, kunnen we deze zinsnede nu zoeken op fragment 2, dat immers volgens onze formele analyse op de hoogte van het bovenste gedeelte van fragment thuishoort. Inderdaad komen de woorden "geschreven staat" op fragment 2 voor, zodat wij nu ook de precieze plaats van dit fragment ten opzichte van fragment 1 kunnen vaststellen. "Zoals" vinden wij op fragment 6, dat dus direct bij fragment 2 aansluit. Als we fragment 1 en 6 verder lezen, ontdekken we op fragment 6 de woorden "-ja, de profeet, die zegt" en op de volgende regel van fragment 1 "op de bergen de voeten van de vreugdebode", een citaat uit *Jesaja 52:7:* "Hoe lieflijk zijn op de bergen de voeten van de vreugdebode". "Lieflijk zijn" vinden we inderdaad op fragment 7, zoals op grond van de formele analyse viel te verwachten. Daarmee kunnen we dan de juiste positie van fragment 7 ten opzichte van de fragmenten 1, 2 en 6 bepalen. Evenzo kan vanwege een ander citaat uit *Jesaja 52:8* de volgorde van de fragmenten 3, 8, 10 en 9 worden bepaald.

Inderdaad blijken acht van de dertien fragmenten tot één kolom te behoren en kan vrijwel de gehele tekst worden gereconstrueerd. Het gebruikte schrift geeft ons een aanwijzing over de tijd waarin het document werd geschreven: het lijkt te stammen uit herodiaanse tijd, en wel uit de periode vlak vóór het begin van onze jaartelling.

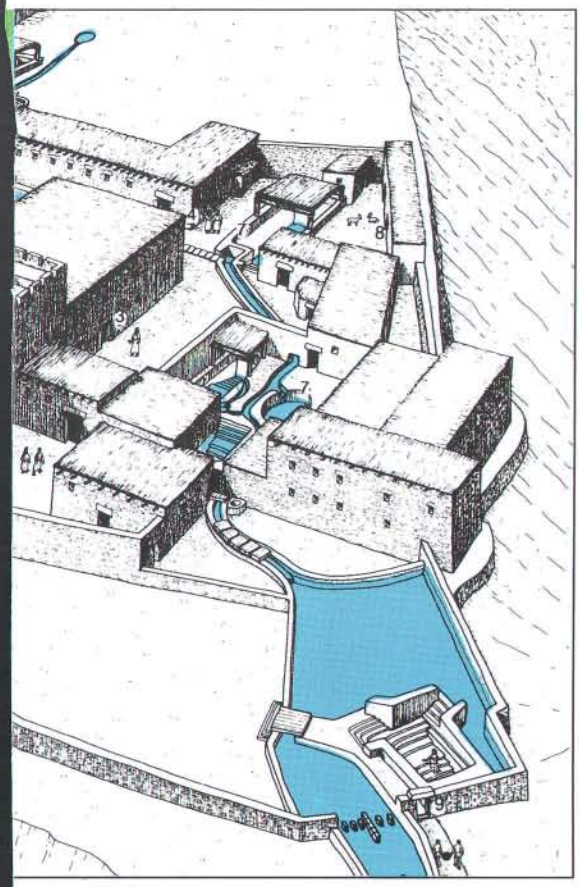
I-1 en I-2. Het herplaatsen van fragmenten van een oude schriftrol is als het maken van een puzzel. Randen van kolommen en kleur van het leer geven soms een aanwijzing van de plaats van de stukjes (I-1). Als er aanhalingen van oudtestamentische teksten voorkomen, is het mogelijk om de ruimte tussen de fragmenten te reconstrueren.

joodse en christelijke schrijvers en een enkele Romeinse auteur ons over de Essenen verschaffen, komt in zovele opzichten overeen met wat wij in de Dode-Zeerollen lezen, dat er geen twijfel aan bestaat dat de gemeenschap van Qumrân stamde uit esseense kringen.

Na het midden van de tweede eeuw voor Christus formeerden de Essenen zich tot een hechte gemeenschap die zich afscheidde van de hoofdstroom van het jodendom. Zij stonden blijkbaar onder leiding van een invloedrijk persoon, die in de rollen als de 'Leraar der Gerechtigheid' (dat wil zeggen de ware leraar) wordt aangeduid. De verantwoording voor de afscheiding lijkt te zijn beschreven in een geschrift, dat als *Enige voorschriften van de Wet* wordt betiteld. Het gaat kennelijk om een brief die was gericht aan het geestelijk hoofd van het jodendom, de hogepriester te Jeruzalem. Deze akte van afscheiding bevat na een inleiding een liturgische kalender, een lijst van wetsvoor-



6



7

6, 7 en 8. De moeilijk bereikbare grotten bij Qumrân waren een goede bergplaats voor de bibliotheek van de Esseense gemeenschap. Archeologen groeven aan de andere kant van de kloof de restanten van de Esseense nederzetting op (6). De watervoorziening speelde een voorname rol in de bouw van de kleine nederzetting (7). Een reconstructietekening toont enkele bassins en de open waterleiding. In de ruïnes zijn de waterkanalen nog steeds goed te herkennen (8).

9

9. Een van de archeologische vondsten betreft de zogenaamde *tefillim,* gebedsriemen, waarvan een capsule hier op ware grootte is afgebeeld. Het opengevouwen mapje bevat vier perkamentrolletjes, waarop bijbelteksten staan geschreven.

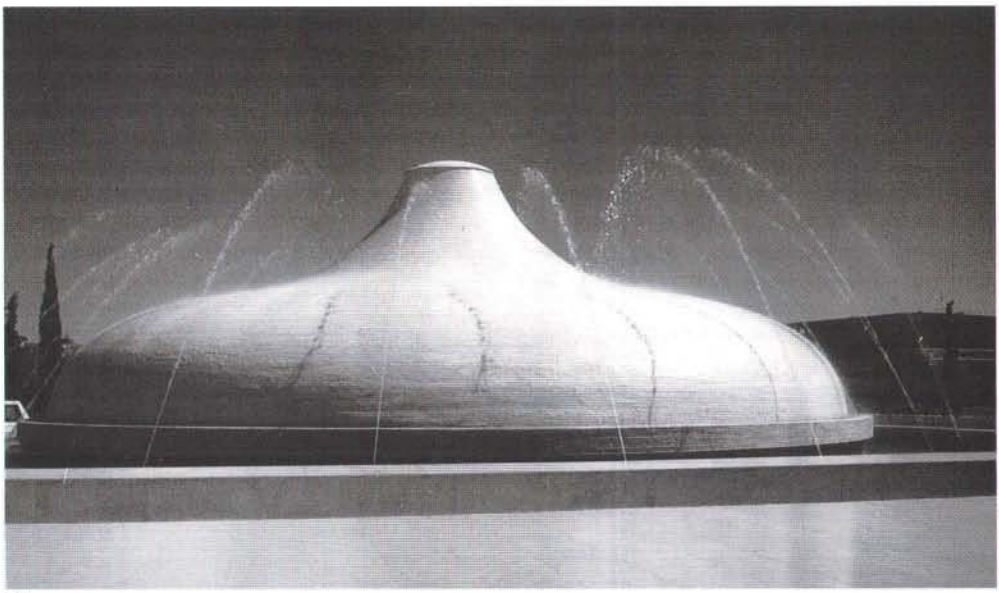
8

schriften waarin de afgescheidenen verschillen van de rest van het toenmalige jodendom en een slotwoord waarin is uiteengezet waarom het tot een breuk moest komen en andersdenkenden werden aangespoord de standpunten van de gemeenschap te delen.

De Leraar der Gerechtigheid werd door de Jeruzalemse machthebbers vervolgd, maar geraakte ook in eigen kring in moeilijkheden, ongetwijfeld vanwege de autoriteit die hij met een beroep op goddelijke openbaring voor zichzelf opeiste. Het kwam binnen de gemeenschap tot een breuk, waarbij een minderheid zich schaarde aan de zijde van hun leider. Deze lijkt zich daarna omstreeks 125 v.Chr. met zijn getrouwen in de woestijn te hebben teruggetrokken, waar zij te Qumrân een gemeenschapshuis stichtte. Over het verdere verloop van de geschiedenis van de Qumrângemeente is ons weinig met zekerheid bekend. Het definitieve einde kwam in 68 n.Chr., toen de Romeinen bij hun poging de Eerste Joodse Opstand (66-73 n.Chr.) neer te slaan Qumrân bezetten en in een militaire wachtpost omvormden. Kort daarvoor had de gemeenschap haar bibliotheek in nabijgelegen grotten overgebracht in de verwachting spoedig te zullen terugkeren. Het is er niet van gekomen. Evenals de Sadduceeën verdwenen de Essenen na de Eerste Joodse Opstand van het religieuze toneel.

De Hebreeuwse bijbel

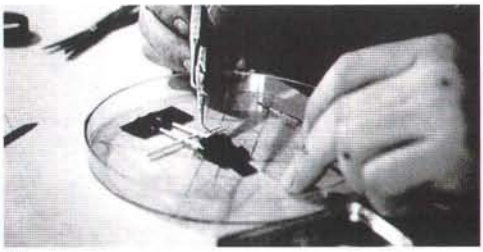
De vondsten van Qumrân werpen ondermeer een nieuw licht op de tekstgeschiedenis van de Hebreeuwse bijbel, door christenen het Oude Testament genoemd. Tot de honderden handschriften uit de grotten van Qumrân behoren



10

10 en 11. Een aantal van de Dode-Zeerollen is ondergebracht in het Israel Museum te Jeruzalem. Het speciaal daarvoor gebouwde paviljoen heeft de vorm van de deksel van de kruiken waarin sommige rollen zich bevonden (10). In het museum zijn enkele rollen tentoongesteld rondom een pilaar met de vorm van een thora-rol (11).

12 en 13. Het openen van rollen is een bijzonder nauwkeurig werkje (12). Na openvouwen blijkt een tefillimtekst (op ware grootte afgebeeld) met een zeer fijn handschrift te zijn geschreven (13). De tekst bevat diverse delen van Exodus en Deuteronomium, het tweede en het vijfde boek van het Oude Testament.



12

ongeveer 180 bijbelhandschriften. Alle boeken van het Oude Testament zijn daarin vertegenwoordigd, met uitzondering van *Nehemia* en *Ester*. Het best vertegenwoordigd onder de bijbelhandschriften zijn resten van rollen die eens de volledige tekst van *Deuteronomium, Jesaja* (in roomskatholieke bijbelvertalingen aangeduid als *Isaias*) of de *Psalmen* bevatten. Deze boeken worden in de niet-bijbelse handschriften van Qumrân het meest aangehaald en spelen ook in het Nieuwe Testament een grote rol. De manuscripten zijn vele eeuwen ouder dan de *Codex Leningradensis* van ongeveer duizend na Christus, waarop onze academische uitgave van het Oude Testament en bijgevolg ook onze moderne bijbelvertalingen zijn gebaseerd. Dat betekent dat wij nu in staat zijn de geschiedenis van de tekst van het Oude Testament na te gaan vanaf ongeveer 200 v.Chr.

Eén vaste bijbeltekst

Voordat één teksttype zich heeft kunnen doorzetten (dat van onze Hebreeuwse bijbel), kende Palestina een grote variëteit aan bijbelteksten. Deze variëteit bestond niet alleen in sektarische kringen als Qumrân. Vele bijbelhandschriften die in Qumrân zijn gevonden, kwamen daar van buitenaf en ook de gemeenschap zelf heeft die variëteit gehandhaafd. Daarom verschaft Qumrân ons een beeld van de verschillende teksttypen die destijds in Palestina in omloop waren. Deze verschillende teksttypen brengen weliswaar geen andere boodschap over (de verschillen betreffen vaak spelling, toevoeging of weglating van enkele woorden of een vers, omzetting van verzen enzovoort), maar zij bewijzen niettemin dat er vóór 70 n.Chr. niet één gefixeerde bijbeltekst van het Oude Testament

11

13

bestond. Vooral de teksttypen in de boeken *Samuël* en *Jeremia* (of: *Jeremias*) vertonen soms aanzienlijke onderlinge afwijkingen. We zouden zelfs kunnen zeggen dat de tekst die we in onze Hebreeuwse bijbels hebben, in zekere zin op toeval berust. Zij was de tekst die in omloop was bij één joodse groepering die de ramp van de verwoesting van Jeruzalem en zijn tempel in 70 n.Chr. overleefde, die van de Farizeeën.

Hoe is er daarna een definitieve eenheidstekst ontstaan? Naar mijn mening hebben vooral de schriftgeleerden, die doorgaans tot de Farizeeën behoorden, deze uniformiteit bevorderd. Zolang men de Bijbel leest tot eigen stichting, is een gefixeerde tekst niet direct noodzakelijk. Wie echter de Schrift onderwijst, zal behoefte hebben aan een in details vastliggende tekst. Intussen bevestigen de vondsten van Qumrân dat de tekst die ten grondslag ligt aan onze Hebreeuwse bijbel en die het dus heeft 'gewonnen', in grote lijnen als de beste is te beschouwen.

Was Jezus een Esseen?

De vondst van de rollen van de Dode Zee heeft, omdat de geschriften uit Jezus' tijd stammen, onwillekeurig geleid tot de vraag of we de oorsprong van het christendom met de Essenen in verband moeten brengen en hoe de verhouding van Jezus van Nazaret tot de gemeenschap van Qumrân was. Of Jezus ooit in contact is gekomen met leden van die gemeenschap, weten wij niet. Dat hij daarmee sterke banden heeft gehad, is echter uitgesloten. Jezus ging om met mensen die tot de zelfkant van de toenmalige maatschappij behoorden. Hij zocht hen bewust op. Dit was niet alleen in de ogen van de Farizeeën en schriftgeleerden hoogst bedenkelijk (zoals blijkt uit het Nieuwe Testament). Ook de gemeente van Qumrân moet dit met alle klem hebben afgewezen, omdat zij principieel weigerde zich in te laten met 'zondaren'. Daarom kan elke poging om Jezus als een Esseen af te tekenen, bij voorbaat niet overtuigen.

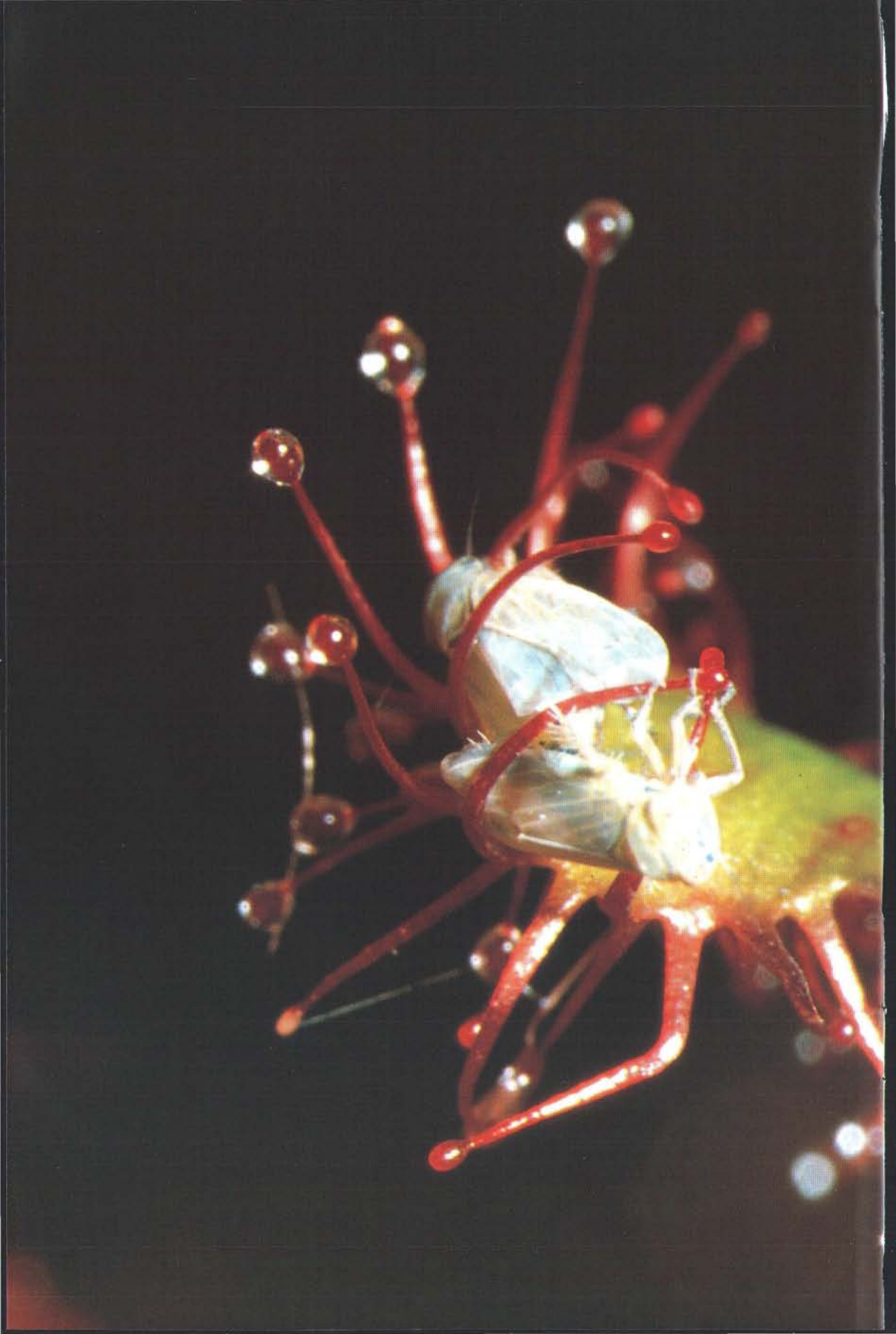
Dat neemt niet weg dat de rollen van de Dode Zee ons belangrijke informatie kunnen verschaffen over de maatschappij waarin het Nieuwe Testament is ontstaan. Bepaalde uitdrukkingen die wij in het Nieuwe Testament aantreffen, worden door de vondsten van Qumrân nieuw belicht en het religieuze milieu waarin het is ontstaan, staat ons momenteel duidelijker voor ogen dan ooit tevoren. Maar het zou een forse overdrijving zijn te menen dat de rollen van de Dode Zee ons de sleutel aanreiken voor de verklaring van de wereldwijde beweging die door Jezus van Nazaret op gang is gebracht.

Literatuur

Ploeg JPM van der. Vondsten in de woestijn van Juda. Utrecht/Antwerpen: Aula, Het Spectrum, 1970.
Vermes G. The Dead Sea Scrolls. Qumran in Perspective. Londen, SCM Press, 1982.

Bronvermelding illustraties

The Cincinnati Enquirer, John Curley: pag. 921.
Israel Museum, Jeruzalem: pag. 920, 1, 5, 6, 9, 11, 12, 13.
Leen Ritmeyer. Israel Museum, Jeruzalem: 7.
EJ Vermeulen, Maastricht: 4, 8, 10.
E Puech in: Revue de Qumrân 48 (1987), 486: I-2.
De afbeelding I-1 is afkomstig van de auteur.



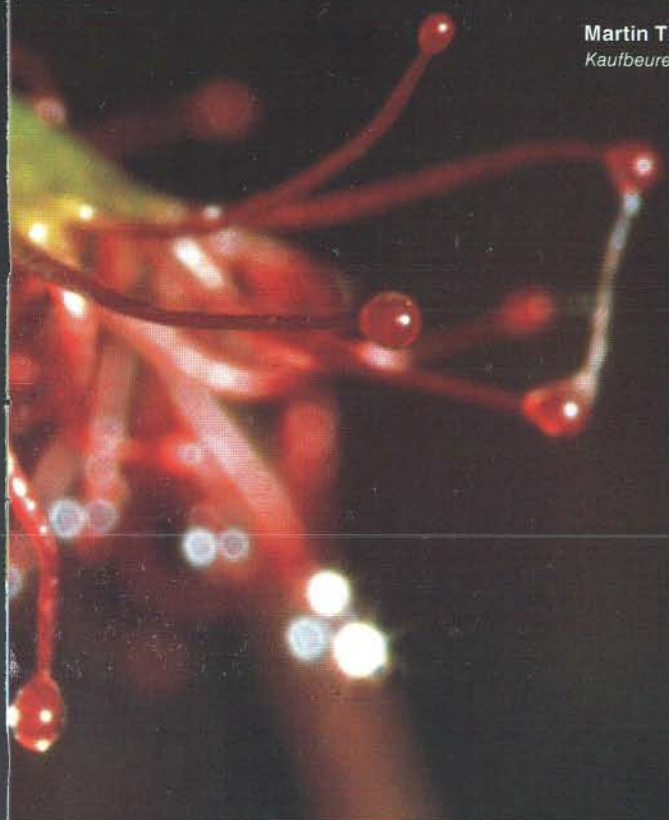
ZONNEDAUW

VLEESETER BEROOFD

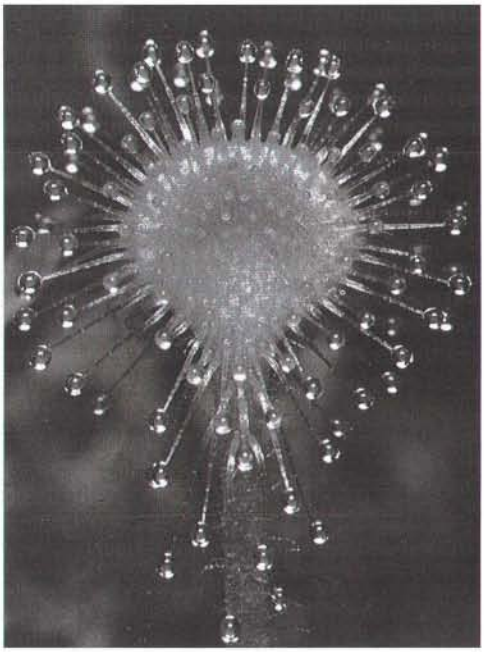
Lijkt het in de biologie al de omgekeerde wereld wanneer planten dieren eten, mieren draaien de rollen nog een keer om. Zij belagen de kleverige bladeren van de vleesetende plant zonnedauw, om die een zojuist gevangen buit afhandig te maken. Er zwerft een dwergcicade door veengebieden die nog ingewikkeldere toeren uithaalt. Dit insekt leeft vooral op de onderkant van zonnedauwbladeren, net buiten het bereik van de dodelijke tentakels en veilig voor vijanden, zoals roofzuchtige wespen of insektenetende vogels. Daar tapt het de sapstroom van de plant af

Tevergeefs reiken de tentakels van zonnedauw naar twee parende cicaden onder op het blad van deze vleesetende plant. Ze zitten daar veilig voor rovers en doen zich tegoed aan voedingsstoffen uit de sapstroom van de plant.

Martin Thum
Kaufbeuren



Geraffineerd en met groot succes strikken zonnedauwsoorten in het veen hun prooien. Maar niet zelden moeten deze insektenvangers hun buit weer afstaan aan mieren en cicaden. Om het eigenaardige van het gedrag van de mieren en de cicaden te kunnen beoordelen, moeten we eerst weten hoe geraffineerd de bladeren van de zonnedauw zijn. De rand en de bovenkant van deze dodelijke vallen zijn dicht bezet met tentakels, die op hun uiteinde zijn getooid met een glashelder druppeltje stroperig secreet. Deze glinsterende bolletjes zien er op het eerste gezicht uit als dauwdruppels.



1

Een insekt dat op zoek is naar nectar in bloemen of naar morgendauw, blijft plakken zodra het op de tentakels landt. Bij een poging om zich los te rukken, raakt het dier steeds meer kleverige druppels. De plant reageert snel op de aanraking en op chemische prikkels van het insekt, en werkt de buit met zijn beweeglijke tentakels trefzeker naar het midden van het blad. Via chemische boodschapperstoffen wordt een alarmsignaal in het weefsel verbreid; de bladranden krullen op en de overige tentakels sluiten zich om het dier heen en bedruipen het van alle kanten met hun secreet; het insekt is reddeloos verloren.

Na ongeveer een half uur is de vertering van het in de val gelopen dier in volle gang. De enzymen die daarvoor nodig zijn, produceert de plant slechts gedeeltelijk zelf. Voor een deel worden ze ook geleverd door speciaal aangepaste bacteriën, die een symbiotische relatie hebben met de zonnedauw. Uiteindelijk breken de verteringsenzymen het ongelukkige insekt helemaal af, op de harde pantserplaten van het dier na.

2

Leven van de regen

Vleesetende planten hebben zich alleen daar ontwikkeld waar de bodem hen niet genoeg voedingsstoffen biedt: in het tropische regenwoud en in het veen. De Indische bekerplant in het regenwoud groeit ver boven de grond, op de takken van hoge bomen. Deze plant vormt grote trechters met gladde randen, waar niet alleen insekten, maar ook af en toe kikkers of jonge vogels vanaf roetsjen. Zo belanden zij in de beker, gevuld met door de plant afgescheiden sappen, en worden verteerd.

3

1 en 2. De tentakels op een zonnedauwblad lijken met zoete dauw bedekt. De veenplanten *Drosera rotundifolia*, ronde zonnedauw (1), en *Drosera intermedia*, kleine zonnedauw (2), delen weliswaar hetzelfde biotoop, maar vangen verschillende insekten.

3. Vleesetende planten vinden we daar waar de bodem bijzonder voedselarm is: in het veen, in blauwgraslanden of in het tropisch regenwoud. Deze tropische plant heeft tot bekers vervormde bladeren, waarin verteringssappen geduldig wachten op een onfortuinlijk insekt.

In het hoogveen, dat in bijna alles van het regenwoud verschilt, is het met de voedingsstoffen voor planten al even treurig gesteld. Het beeld van het landschap wordt er bepaald door de veenmossen, die de bodem doen verzuren. pH-Waarden tussen de drie en de vier – respectievelijk als van azijn en zure melk – zijn de regel. Het grootste probleem voor veenplanten is echter het chronische gebrek aan mineralen. De vegetatie is door meters dikke veenlagen van de voedselrijke ondergrond afgesloten. Alleen regen en stof leveren mineralen en spoorelementen. Het laat zich raden dat die aanvoer niet erg groot is. De concurrentie onder de planten om voedingsstoffen die onmisbaar zijn voor het leven, vooral stikstof, is navenant.

Veel soorten hebben speciale wapens ontwikkeld voor de strijd om de mineralen. De veenmossen gebruiken hun blad als ionenwisselaar: zij wisselen voedingsstoffen uit het water tegen zuur. De veenbes leeft in symbiose met schimmels en vormt een zogenaamd mycorrhiza. Het netwerk van schimmeldraden in en om de wortels van de struikjes vergroot het contactoppervlak van de plant met de bodem en versnelt de afbraak van organisch afval in de directe omgeving van de wortel. De zonnedauw tenslotte gaat de concurrentiestrijd helemaal uit de weg: deze spreekt de voorraad aan van tussen het veen levende insekten. Het lichaam van de dieren bevat – berekend op basis van hun levend gewicht – altijd nog tot drie procent stikstof.

Keurige verdeling

Concurrentie van de andere planten heeft zonnedauw in het veen niet te vrezen, met uitzondering van andere zonnedauwplanten. Ook insekten staan in het veen immers niet onbeperkt ter beschikking. Des te verwonderlijker is het, dat verschillende zonnedauwsoorten vaak naast elkaar leven zonder elkaar te verdringen. Theoretisch zouden twee soorten die een zeer gelijk 'gedrag' vertonen (in dit geval het vangen van insekten om aan voedingsstoffen te komen) en hetzelfde biotoop bewonen (het veen) op den duur niet naast elkaar kunnen voortbestaan. Ze bezetten dan namelijk dezelfde *niche* en dat kan volgens de geldende ecologische inzichten niet. Dat dit bij de meest voorkomende Middeneuropese zonnedauwsoorten – de ronde zonnedauw (*Drosera rotundifolia*) en de

4 t/m 7. De wandelaar in het veen zal de zonnedauw in de wirwar van planten snel over het hoofd zien. Maar wie niet bang is voor natte knieën, kan getuige zijn van een mier die sjort aan een gevangen vlieg (6) of die voorzichtig de onderkant van het blad verkent (7). Een cicade (5) poetst zijn vleugels, net buiten het bereik van de zonnedauwtentakels. Het insekt steekt zijn zuigsnuit in de onderkant van het blad en tapt voedingsstoffen af van de plant.

4

5

kleine zonnedauw (*Drosera intermedia*) — toch het geval is, doet vermoeden dat er sprake is van een goed functionerende opsplitsing van de niche.

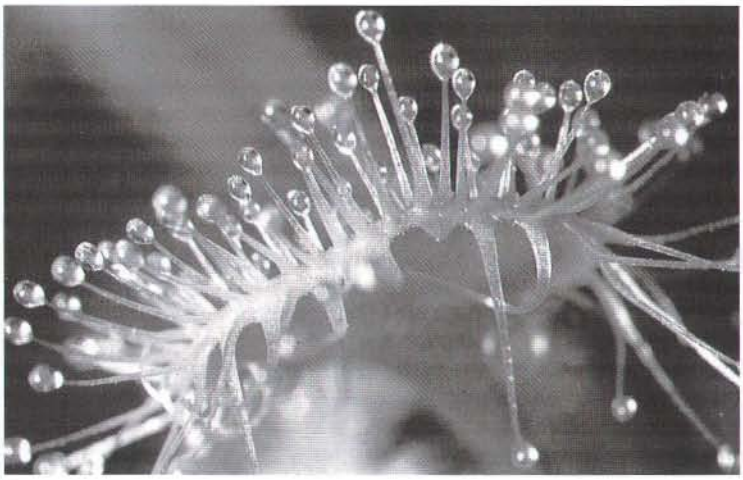
De vorm en de standplaats van beide soorten zijn al verschillend. De ronde zonnedauw groeit meestal op hoger gelegen veenmoskussens (bulten) en legt de weinige, ronde bladeren die hij heeft, plat op de grond. De kleine zonnedauw daarentegen komt voor in de lager gelegen en met water gevulde delen van de venen (slenken) en steekt zijn talrijke, langgerekte bladeren de lucht in. De standplaatsen van beide soorten zijn op kleine schaal zo verschillend dat de planten vaak een volledig verschillend scala van prooidieren hebben. Zo kunnen bijvoorbeeld niet alle insekten — waarvan er vele geen vleugels hebben — het water oversteken, zoals nodig zou zijn bij de slenken.

6

7

Ook de oriëntatie van de bladeren heeft gevolgen voor de opdeling van de niche. De ronde zonnedauw bereikt met zijn vlak op de bodem uitgespreide bladvallen vooral lopende dieren zoals mijten en spinnen. De kleine zonnedauw 'plukt' overwegend vliegende insekten zoals zweefvliegen, dansvliegen en libellen uit de lucht.

Het derde verschil waardoor de twee zonnedauwsoorten elkaar niet in de weg hoeven te zitten, is gelegen in het verschillende microklimaat op hun favoriete standplaatsen. In het voorjaar worden de mosbulten sneller warm, omdat die de laag invallende zonnestralen beter absorberen dan water en bodem in de slenken. Daardoor komt de ronde zonnedauw na zijn winterrust twee tot drie weken eerder tevoorschijn. Op die manier vangt de plant prooidieren die in het vroege voorjaar bijzonder tal-



8

8. De tentakels van zonnedauw zijn uitgroeisels van het blad met klieren die een kleverige druppel afscheiden. De aanlokkelijk glinsterende druppels bevatten verteringsenzymen en bacteriën die helpen bij de afbraak van een gevangen insekt.

rijk zijn en die al weer van het toneel verdwenen zijn als de kleine zonnedauw actief wordt – springstaarten bijvoorbeeld, insekten met een lengte van enkele millimeters.

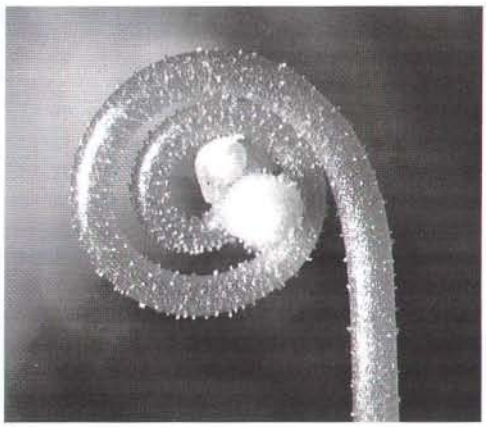
Bevrijd maar niet gered

Dat de beide zonnedauwsoorten hun terrein ieder goed hebben afgebakend is ook van belang voor een diergroep die niet zozeer als prooi, maar meer als rover een rol speelt. Tussen de zonnedauwplanten ziet men vrij vaak mieren heen en weer snellen. Telkens houden ze halt voor een blad en inspecteren het. Wanneer ze een pasgevangen prooidier ontdekt hebben, proberen ze het meteen uit de kleverige val te bevrijden. Niet om het dier te redden, maar om het zelf op te eten.

Is de buit erg groot, dan alarmeert de mier haar collega's in het nest en staan er al snel meer dan tien mieren te trekken en te bijten aan de 'lijmstok' en zijn vangst. De werksters doen vaak meer dan een uur hun best. Ze leggen het werk alleen stil om nog meer mieren te alarmeren of om hun antennes te poetsen, die kleverig zijn geworden van de zonnedauw.

Van zulke overvallen heeft vooral de ronde zonnedauw veel te lijden. Vaak verliest deze bijna tweederde van zijn buit aan de mieren. De kleine zonnedauw komt er met een verlies van vijf procent beter vanaf, want die staat in ieder geval nog in het water en is zo goed beveiligd tegen deze rovers.

Voor de plunderaars valt de balans in ieder geval positief uit. Iedere mier die in het veen leeft, neemt per jaar minstens het zesvoudige van zijn eigen lichaamsgewicht als buit mee naar huis. Bij hun route langs de zonnedauwplanten zien de mieren ook kans om prooidieren te bemachtigen die normaliter niet binnen hun bereik zouden liggen: acrobatische vliegers zoals zweefvliegen en libellen of kevers, die bij rechtstreekse aanvallen van mieren snel op de vleugels zouden gaan om zich in veiligheid te brengen. De stroperij eist ook van de mieren een zekere tol. Af en toe lukt het een van hen niet om de kleverige tentakels te ontwijken en wordt een mier het slachtoffer.



9

Gastvrije plant

Nog verbazingwekkender is de truc waarmee een kleine dwergcicade (*Macrosteles ossiannilssoni*) profiteert van de levensgevaarlijke zonnedauw. Het bleekgele diertje, dat nauwelijks vijf millimeter groot is, zit bij voorkeur op de onderkant van de bladeren. Zolang het insekt voorzichtig is bij de landing riskeert het weinig, aangezien de tentakels slechts op prikkels aan de bovenkant van de bladeren reageren. Omdat een toenadering met gespreide vleugels echter toch te gevaarlijk is, springt de cicade eerst altijd trefzeker op de stengel van het blad.

Ook de jonge dieren, die nog geen vleugels hebben, halen allerlei acrobatische toeren uit op het bladoppervlak en rond de stelen van de tentakels, maar vele vergaat het net zoals de mieren. Zo nu en dan komen ze per ongeluk op de bovenzijde van het blad terecht, worden omsloten en zijn spoedig verteerd.

Toch wegen de voordelen van deze leefomgeving voor de cicade als soort op tegen de verliezen aan afzonderlijke individuen. Door het stikstofgebrek in het veen hebben juist plantesapzuigers, waartoe de cicaden behoren, grote problemen om aan voldoende stikstofrijke eiwitten te komen. Het plantesap in dit biotoop bevat daar immers maar bijzonder weinig van. Zodra een blad met z'n tentakels op de bovenkant een vette prooi heeft gevangen en is begonnen de stikstofhoudende lichaamsinhoud van het insekt tot zich te nemen, prikt de cicade het vanaf de onderkant aan. Het insekt boort met zijn zuigsnuit de sapstroom van de plant aan en laat zich vollopen.

De cicade vindt niet alleen voedsel in de zonnedauw, maar geniet ook bescherming van zijn gastheer. Onder het blad loopt hij namelijk nauwelijks het risico dat hij door een roofinsekt wordt verrast. Stevent bijvoorbeeld een dansvlieg op de schijnbaar weerloze, zuigende cicade af om deze te verorberen, dan wordt die gemakkelijk gegrepen door de ver naar onder gebogen tentakels van de zonnedauw. De rover valt zelf ten prooi – aan de plant en aan de naarstig slurpende kleine cicade op de onderkant van het blad.

10

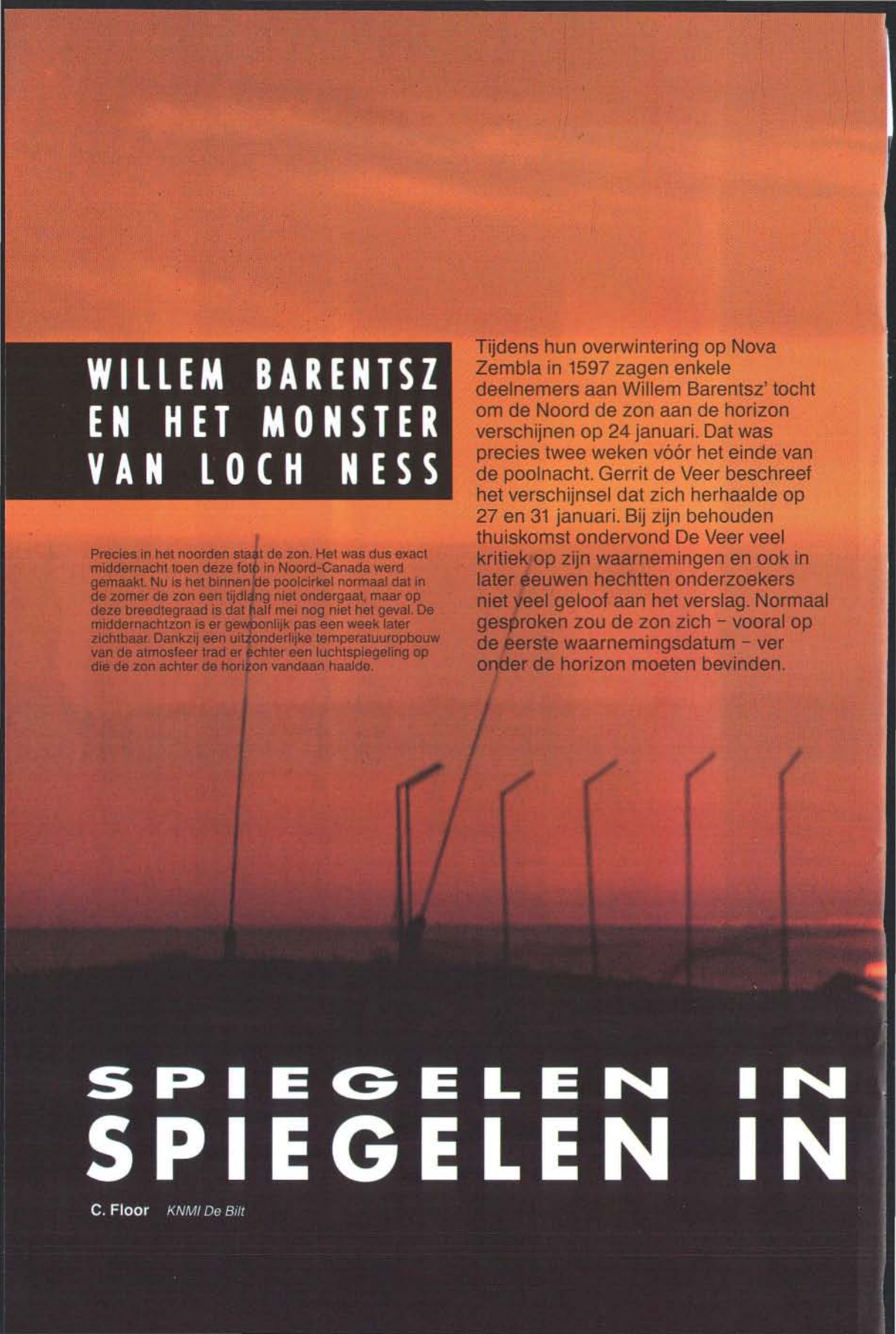
9. Een bloemstengel van de kleine zonnedauw ontrolt zich.

10. Lintvormige bladeren typeren de lange zonnedauw (*Drosera anglica*). Deze behoort tot de zeldzaamste en meest bedreigde soorten van onze flora.

Dit EURO-artikel verscheen eerder in het Duitse *Bild der Wissenschaft*. Het werd voor ons vertaald door drs Claudy de Roos uit Maastricht.

Bronvermelding illustraties

Fred Hoogervorst, Amsterdam: 3
De overige illustraties bij dit artikel zijn afkomstig van de auteur.



WILLEM BARENTSZ EN HET MONSTER VAN LOCH NESS

Precies in het noorden staat de zon. Het was dus exact middernacht toen deze foto in Noord-Canada werd gemaakt. Nu is het binnen de poolcirkel normaal dat in de zomer de zon een tijdlang niet ondergaat, maar op deze breedtegraad is dat half mei nog niet het geval. De middernachtzon is er gewoonlijk pas een week later zichtbaar. Dankzij een uitzonderlijke temperatuuropbouw van de atmosfeer trad er echter een luchtspiegeling op die de zon achter de horizon vandaan haalde.

Tijdens hun overwintering op Nova Zembla in 1597 zagen enkele deelnemers aan Willem Barentsz' tocht om de Noord de zon aan de horizon verschijnen op 24 januari. Dat was precies twee weken vóór het einde van de poolnacht. Gerrit de Veer beschreef het verschijnsel dat zich herhaalde op 27 en 31 januari. Bij zijn behouden thuiskomst ondervond De Veer veel kritiek op zijn waarnemingen en ook in later eeuwen hechtten onderzoekers niet veel geloof aan het verslag. Normaal gesproken zou de zon zich – vooral op de eerste waarnemingsdatum – ver onder de horizon moeten bevinden.

SPIEGELEN IN SPIEGELEN IN

C. Floor *KNMI De Bilt*

KOUDE LUCHT

KOUDE LUCHT

De Nederlandse ontdekkingsreizigers die strandden op Nova Zembla, zijn niet de enigen geweest die tijdens de poolnacht de zon aanschouwden. Shackleton bijvoorbeeld, deed tijdens een expeditie naar de Zuidpool vergelijkbare waarnemingen. Op 8 mei 1915, een week na het begin van de poolnacht, en op 26 juli van datzelfde jaar, vijf dagen voor de zon weer werd terugverwacht, zag ook hij de zon schijnen. Liljequist nam het verschijnsel in 1951 enkele malen waar op Antarctica en tekende de zonneschijf, die onder dit soort omstandigheden merkwaardige vervormingen vertoont. Bovendien zagen Lehn en German op 16 mei 1979 de middernachtzon in Noord-Canada een week te vroeg (pag. 940-941 en afb. 7, 8 en 9); de zon had op die dag normaal gesproken nog onder moeten gaan.

De juistheid van dergelijke waarnemingen staat tegenwoordig niet meer ter discussie. Ze vinden hun verklaring in de temperatuuropbouw van de atmosfeer en de effecten daarvan op de voortplanting van licht door de dampkring. Het vreemde gedrag van de zon staat bekend als het *Nova-Zemblaverschijnsel*, naar de plaats waar het voor het eerst werd beschreven. Het is een van de vormen waarin arctische luchtspiegelingen zich kunnen voordoen. Dit artikel wil enig licht werpen op zulke luchtspiegelingen en op de omstandigheden waaronder ze optreden. Wellicht biedt het fenomeen een verklaring voor sterke zeemansverhalen en voor het Monster van Loch Ness. Waarschijnlijk speelde het een belangrijke rol bij de ontdekking van IJsland en Groenland door de Kelten en de Noormannen.

Luchtspiegelingen

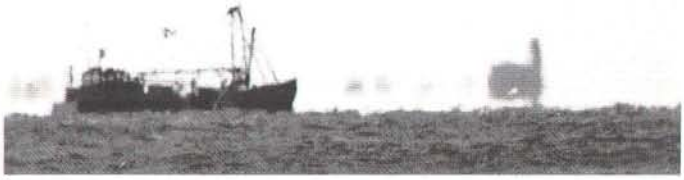
De poolstreken en het noordelijk deel van de Atlantische Oceaan genieten weinig bekendheid als gebieden waar zich luchtspiegelingen voordoen. Het verschijnsel roept veeleer associaties op met de woestijn, waar luchtspiegelingen boven het warme zand vaak de suggestie wekken van de aanwezigheid van water of waar ze de indruk van een oase oproepen. Dit type luchtspiegeling doet zich overigens niet alleen voor in de woestijn. Ook op onze breedten is het verschijnsel regelmatig te zien, bijvoorbeeld boven door de zon verwarmde wegen en startbanen of boven het relatief warme water van de Noordzee en de Waddenzee. Vanuit de verte

1 en 2. 'Woestijnluchtspiegelingen' zijn ook in de Lage Landen een tamelijk alledaags verschijnsel. Hier doet het effect zich voor boven het betrekkelijk warme water van de Waddenzee.

3. In een heldere Venusatmosfeer zou de zon enkele malen zichtbaar zijn. De grote dichtheid veroorzaakt zoveel kromming dat lichtstralen de planeet enkele malen zouden kunnen omcirkelen. Helaas is de atmosfeer vrijwel ondoorzichtig.

1

3



2

lijkt het opgewarmde wegdek bedekt met plassen water, waarin voorwerpen worden weerspiegeld. Boven water lijkt het of schepen en kustlijnen boven de kim zweven. Het spiegelbeeld van de voorwerpen bevindt zich onder het 'origineel'; daarom noemt men woestijnspiegelingen ook wel *luchtspiegelingen naar beneden.* Deze luchtspiegelingen ontstaan alleen boven een warm aardoppervlak met daaroverheen een laag koudere lucht.

Arctische luchtspiegelingen verschijnen juist bij tegenovergestelde omstandigheden. Ze doen zich meestal voor boven koud oceaanwater of zijn waarneembaar over de uitgestrekte sneeuw- en ijsvelden van de poolgebieden. Nog een voorwaarde is dat de lucht op enige hoogte warmer is dan de lucht vlak bij het koude oppervlak. Deze situatie is het omgekeerde van de normale, waarbij de temperatuur in onderste kilometers van de dampkring juist afneemt met de hoogte. Meteorologen spreken dan ook van een inversie. De arctische luchtspiegelingen zijn zeldzamer maar vaak ook imponerender dan de woestijnspiegelingen.

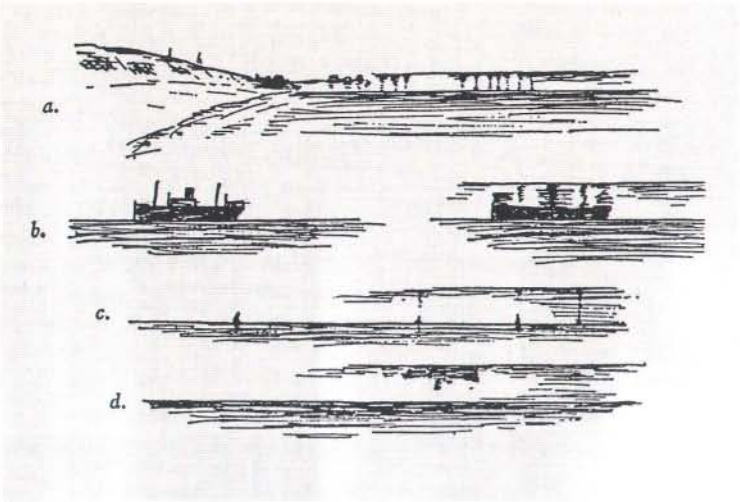
Overigens is de temperatuuropbouw van de atmosfeer niet direct verantwoordelijk voor genoemde optische verschijnselen. Een lagere temperatuur hangt echter samen met een hogere dichtheid van de lucht, en juist de dichtheid beïnvloedt de voortplanting van het licht. IJler en dichter zijn in dit artikel dan ook min of meer synoniem met warmer en kouder.

Drie varianten

Het Nova-Zemblaverschijnsel is de meest extreme arctische luchtspiegeling. Die vorm komt dan ook het minst voor. Minder uitzonderlijk is de *opdoeming* ofwel het *hillingareffect.* Als derde variant is er de *luchtspiegeling naar boven* ofwel het *hafgerdingareffect.* De woorden hillingar en hafgerdingar zijn ontleend aan het IJslands, wat de nauwe verwantschap van de arctische luchtspiegelingen met het noordelijk deel van de Atlantische Oceaan in de wijde omgeving van IJsland benadrukt.

Als de omstandigheden voor opdoeming gunstig zijn, ziet men voor of op de kim verafgelegen kerktorens, steden, kusten of bergen, die zich onder normale atmosferische omstandigheden achter de horizon bevinden. Ook vanuit Nederland zijn gevallen bekend dat het verschijnsel optrad. Zo is vanuit Noordwijk wel eens de Engelse oostkust waargenomen en zag men vroeger bijvoorbeeld vanuit Stavoren over de Zuiderzee opeens Enkhuizen en Urk verrassend dichtbij liggen. Op volle zee lijkt het zeeoppervlak de vorm te krijgen van een schotel; de waarnemer zit midden onderin, de kim lijkt hoger dan de eigen positie.

Luchtspiegelingen naar boven vormen de tegenhanger van de woestijnspiegeling. Ditmaal kleeft het spiegelbeeld niet aan de onderzijde tegen het 'origineel', maar hangt het erboven vrij in de lucht. Zo zijn er meldingen van sche-



4

5

pen die op hun kop boven de kim leken te hangen. Soms is er ook sprake van meer dan één spiegelbeeld. De optische kwaliteit van de dampkring is meestal echter zo slecht, dat de beelden vaak in elkaar overlopen. Het samengestelde beeld laat zich dan moeilijk duiden. In Nederland is de luchtspiegeling naar boven wel waargenomen boven de Noordzee vanaf de kust bij Zandvoort en ook vanaf de Belgische kust moeten dergelijke verschijnselen in zeldzame gevallen zichtbaar zijn.

Voortplanting van licht

Luchtspiegelingen treden slechts op bij een abnormale kromming van licht dat zich voortplant door de atmosfeer. Ook onder normale omstandigheden treedt er een zekere kromming op, al zijn we ons dat niet bewust wanneer we naar voorwerpen in de verte kijken. Meestal gaan we ervan uit dat licht zich rechtlijnig voortplant; dat is echter alleen het geval in media waarin de optische eigenschappen overal gelijk zijn. In de dampkring is de lucht bovenin echter veel ijler dan de lucht vlak bij het aardoppervlak en dat heeft gevolgen voor de optische eigenschappen van de atmosfeer. Zo wordt het licht van de zon en van sterren op zijn weg naar het aardoppervlak steeds sterker gebroken door de steeds dichter wordende dampkring. Daardoor volgen vooral schuin invallende stralen een gekromde baan. Als gevolg daarvan lijken sterren, vooral in de buurt van de horizon, hoger aan de hemel te staan dan zonder atmosfeer het geval zou zijn.

De lichtbanen in de standaardatmosfeer (waarin temperatuur en dichtheid naar boven toe regelmatig afnemen) buigen enigszins mee met het aardoppervlak. Dat houdt in dat men zelfs bij een 'normale' voortplanting van het licht door de atmosfeer iets over de einder heen kan kijken. We zien dankzij die kromming dus meer van de de wereld om ons heen dan zonder dampkring het geval zou zijn geweest. Zo wordt aan het strand de afstand tot de kim, die bij een ooghoogte van één meter zeventig boven zee ongeveer vijf kilometer bedraagt, bijna vijfhonderd meter groter; vanaf een vijfentwin-

7

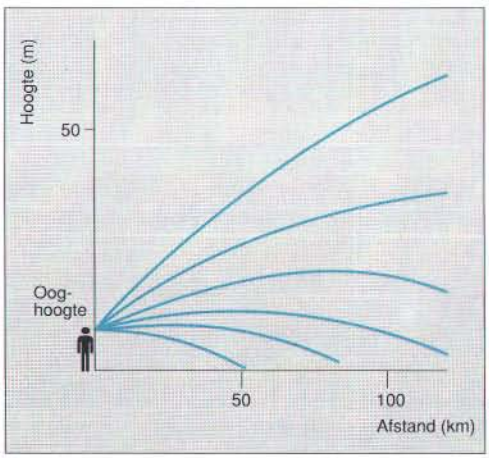
tig meter hoge duintop zien we de kim op omstreeks twintig kilometer, waarbij de kromming van het licht bijna twee kilometer winst heeft veroorzaakt.

Extra kromme lichtstralen

De normale kromming van de baan van het licht door de atmosfeer kan onder bepaalde omstandigheden aanmerkelijk toenemen. Bij opdoeming wordt het effect versterkt doordat er zich dan een warme, dus relatief ijle, luchtlaag op enige hoogte bevindt. Die laag veroorzaakt extra kromme lichtstralen (afb. 6). Daardoor kunnen voorwerpen ver achter de horizon opeens zichtbaar worden en dichtbij lijken. Overigens is er aan die voorwerpen weinig bijzonders te zien.

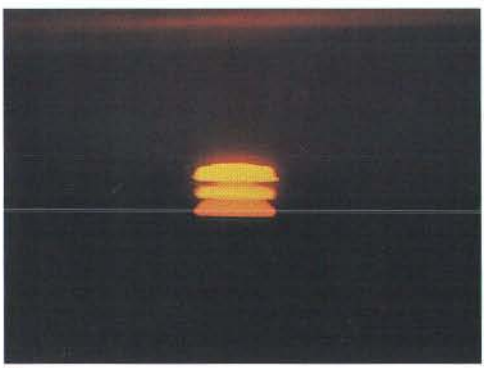
4 en 5. In tegenstelling tot de luchtspiegeling naar beneden (5), is de luchtspiegeling naar boven in onze steken een tamelijk zeldzaam verschijnsel. In de jaren dertig schetste J. Pinkhof vanaf Zandvoort de dorpen Noordwijk, Katwijk en Scheveningen, een stoomschip en enkele zeilscheepjes.

6. Bij het hillingareffect, is de straalkromming zo groot dat voorwerpen die zich ver achter de horizon bevinden, kunnen worden gezien.

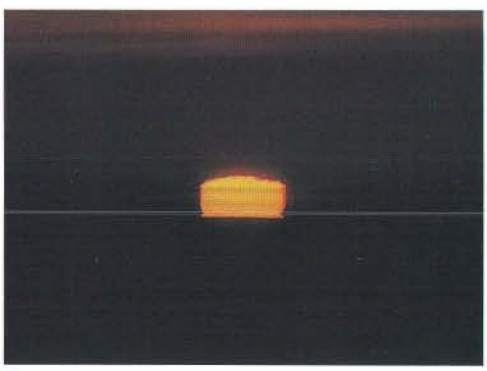


6

7, 8 en 9. De Canadese hoogleraar Waldemar Lehn fotografeerde op 16 mei 1976 de middernachtzon een week te vroeg. Normaal zou op het tijdstip waarop hij opname 7 maakte nog slechts een segment van de zon te zien zijn geweest. Opname 8 zou dan nog juist de bovenrand tonen van de ondergaande zon, die op het moment van opname 9 geheel achter de horizon zou zijn verdwenen. Door het Nova-Zembla-effect is de zon toch zichtbaar.



8



9

Als de inversie sterker wordt, met andere woorden als het temperatuurverschil tussen de koude lucht aan de grond en de warmere lucht bovenin toeneemt, zien de beelden er wat minder alledaags uit. De kromming van de lichtstralen wordt onder die omstandigheden groter dan de kromming van het aardoppervlak. Tot op zekere hoogte geldt dan dat voorwerpen die verder weg zijn, hoger boven de horizon verschijnen dan de voorwerpen dichterbij. Lichtstralen die afkomstig zijn van een object kunnen de waarnemer onder dergelijke omstandigheden bovendien op twee manieren bereiken: volgens de normale, licht gekromde route en volgens een onder de heersende, speciale atmosferische toestand tevens mogelijke route met aanzienlijk sterkere kromming (afb. 10). Het licht dat de sterk gekromde baan heeft gevolgd lijkt als het ware weerkaatst tegen het grensvlak van de koude lucht aan de grond en de warmere lucht daarboven. Er ontstaat dan ook een spiegelbeeld van het oorspronkelijke voorwerp. De waarnemer ziet dat spiegelbeeld ergens in de lucht zweven. Afhankelijk van de temperatuuropbouw van de atmosfeer zijn ingewikkelder varianten van deze luchtspiegeling-naar-boven mogelijk.

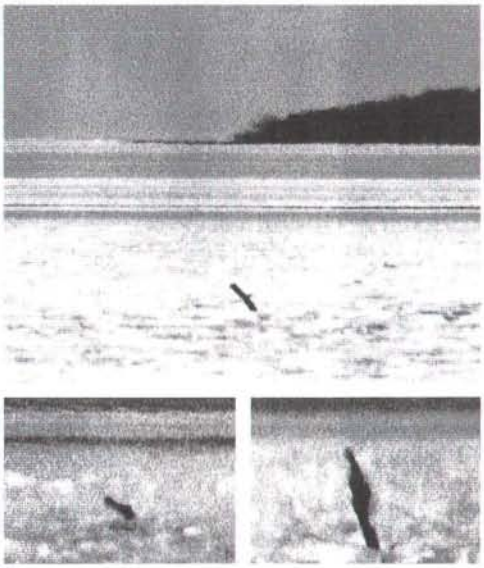
De tot nog toe besproken voorbeelden gaan ervan uit dat het afgebeelde voorwerp in de arctische luchtspiegeling duidelijk herkenbaar is. Dat is lang niet altijd het geval. Dikwijls zijn er geen geschikte objecten aanwezig. Waar dat wel het geval is, maakt de optische kwaliteit van de atmosfeer, het medium waardoorheen het licht zich moet voortplanten, herkenning vaak onmogelijk. Als het hafgerdingareffect, de luchtspiegeling naar boven, zich voordoet lijkt het aardoppervlak vervormd met rechtopstaande onregelmatigheden. Onherkenbare, meervoudige beelden van voorwerpen in de verte worden gemakkelijk bestempeld tot onbekende en onverklaarbare diersoorten, zoals het Monster van Loch Ness, 'zeemeermannen' en andere meer- en zeemonsters (zie Intermezzo).

Het Nova-Zembla-effect

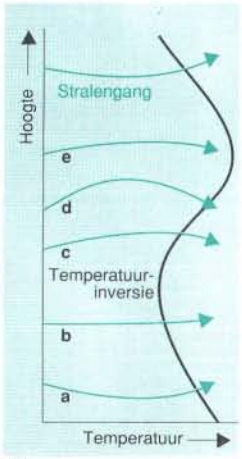
De derde vorm van arctische luchtspiegeling, het Nova-Zemblaverschijnsel, treedt op als er zich op enige hoogte in de dampkring een koude laag bevindt, waarin sterke straalbreking optreedt. In deze laag is de kromming van de licht-

Het monster van Loch Ness

Een veelbesproken verschijnsel dat zich laat terugvoeren op het hafgerdingartype van arctische luchtspiegeling is de 'zeemeerman', een monster dat voorkomt in oude Scandinavische literatuur. Lehn en medewerkers vonden verwijzingen naar dit monster in het rond 1070 geschreven *Den eldste Noregs-historia* en in het uit de dertiende eeuw stammende *De spiegel van de koning*. Vooral de beschrijvingen in dit laatste boek, een verzameling van Noorse volksver-



I-1

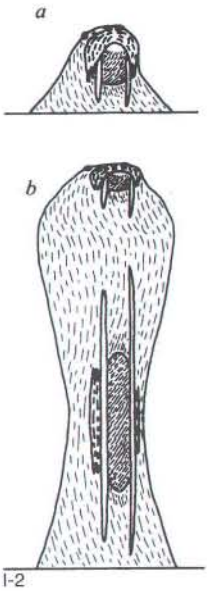


10

10. Het hafgerdingareffect kan optreden bij een sterke temperatuurinversie boven een koud oppervlak. De straalkromming op verschillende niveaus in de atmosfeer veroorzaakt be-

halen en algemene wijsheden, zijn interessant. Ze lijken zeer bruikbaar omdat er in dat werk opvallend nauwgezette beschrijvingen voorkomen van talrijke grotere zoogdieren die in het noordelijk deel van de Atlantische Oceaan voorkomen.

Het leuke is dat de zeemonsters opvallende gelijkenis vertonen met door Lehn berekende beelden van walvissen, zeehonden of zelfs van grote stenen, zoals die optreden onder hafgerdingarcondities. Lehn paste zijn theorie ook toe op een monster dat nog geregeld 'uit het water' opduikt: het Monster van Loch Ness. Analyse van de omstandigheden waaronder het monster is waargenomen, wijzen in de richting van een luchtspiegelingseffect. Het monster zou zo een verre nazaat kunnen zijn van de zeemeermannen van de Vikingen. Lehn fotografeerde boven de Canadese meren vergelijkbare 'meermonsters' om zijn theorieën te ondersteunen.

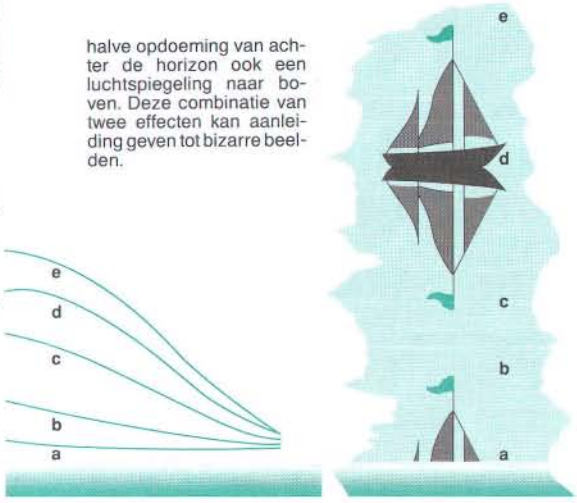


I-2

I-3

I-1 t/m I-3. Onder gunstige omstandigheden vervormen takken die boven het water uitsteken of stenen in de branding tot beelden die gemakkelijk als voorwereldlijk wezen worden bestempeld. Een walrus richt zich in zo'n situatie op tot een vervaarlijk ogend monster met verschrikkelijke slagtanden.

halve opdoeming van achter de horizon ook een luchtspiegeling naar boven. Deze combinatie van twee effecten kan aanleiding geven tot bizarre beelden.



stralen groter dan die van het aardoppervlak, terwijl in de erboven en eronder gelegen lagen de lichtstralen minder krom zijn dan het aardoppervlak. In dergelijke situaties kan het licht afkomstig van een voorwerp op het aardoppervlak of nabij de einder, een zeer grote afstand hebben afgelegd eer het de waarnemer bereikt door de onderste lagen van de dampkring. De lichtstralen zitten als het ware ingeklemd tussen het aardoppervlak en de koude laag op enige hoogte. Het effect treedt alleen op boven een omvangrijk stuk vlak terrein, omdat alleen daar het gebied waarboven een en dezelfde temperatuurinversie aanwezig is groot genoeg is.

Normaal gesproken blijft het Nova-Zemblaverschijnsel beperkt tot een smalle grijze band

aan de horizon. In feite vormt deze grijze band een 'venster' waardoorheen de waarnemer voorwerpen op zeer grote afstand ziet. Doordat het licht zo ver heeft gereisd is het behoorlijk verstrooid en verzwakt, zodat van de verre voorwerpen nog slechts een grijze waas rest. Daardoor ziet de plek aan de hemel in de richting van het effect er grijzer uit dan de rest van de lucht, waar het licht van dichterbij komt. Afhankelijk van de omstandigheden kan het 'grijze venster' zich boven, op of onder de horizon voordoen.

Meestal zal dit weinig spectaculaire Nova-Zembla-effect onopgemerkt blijven. Dat verandert echter als er zich een lichtsterk voorwerp bevindt in de richting van het grijze venster. Dat kan bijvoorbeeld een door de felle zon beschenen gletsjer zijn, een besneeuwde bergtop in de zon of de zonneschijf zelf. Zo'n felle lichtbron zal een toevallig aanwezige waarnemer bepaald niet ontgaan en op hem of haar zeker indruk maken.

Kelten en Noormannen

De luchtspiegelingseffecten die in het voorgaande werden beschreven, dateren natuurlijk niet van vandaag of gisteren. De al eerder genoemde Canadese hoogleraar Waldemar Lehn, die gefascineerd raakte door arctische luchtspiegelingen, was zich hiervan al eind jaren zeventig bewust. Hij onderzocht, in samenwerking met enkele collega's uit andere vakgebieden, niet alleen de natuurkundige achtergronden van het verschijnsel, maar tevens de betekenis ervan voor bijvoorbeeld de Kelten en de Noormannen, die in de Middeleeuwen reisden door het gebied waar arctische luchtspiegelingen veelvuldig optreden.

Onder normale atmosferische omstandigheden zouden dergelijke reizen met de destijds beschikbare vaartuigen alleen door speculatieve avonturiers kunnen worden uitgevoerd. IJsland is vanuit Europa niet zichtbaar en evenmin kan men Groenland zien liggen vanaf de noordwestpunt van IJsland. Toch koersten reeds in de achtste eeuw van onze jaartelling Kelten naar IJsland, in het jaar 874 gevolgd door de Noormannen. Zij keerden behouden terug. Lehn veronderstelt dat zij, dankzij de arctische luchtspiegelingseffecten, toch een glimp van het land van bestemming hebben opgevangen. Een ervaren waarnemer kan zo tot de overtuiging zijn gekomen dat er in noordwestelijke richting meer moest zijn dan alleen water. Hillingareffect en Nova-Zemblaverschijnsel hebben vermoedelijk ook een rol gespeeld bij de volgende stap in de verkenning van de wereld: de eerste reizen vanuit IJsland naar Groenland.

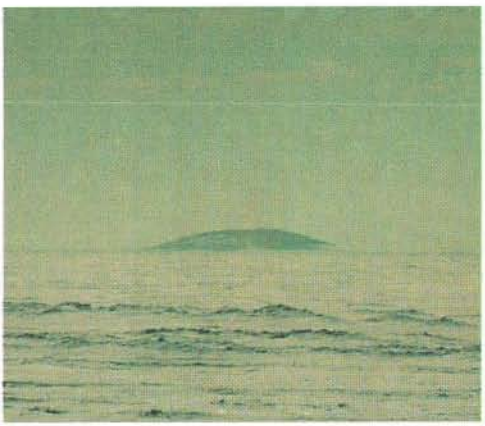
11 en 12. Whitefish Summit is een eiland voor de kust van de stad Tuktoyaktuk in het uiterste noordwesten van Canada, dat bij een luchtspiegeling naar boven als een geweldige zandloper uit zee oprijst.

13, 14 en 15. De afstand tot de einder over het bevroren Winnipegmeer is normaal ongeveer 5,5 km. Dat wil zeggen dat de horizon vlak achter de op 3,6 km gelegen bomenrij ligt (13). Onder hillingaromstandigheden (14) lijkt het meeroppervlak omhoog te krullen, waardoor het tot ver achter de bomen zichtbaar is. Het hafgerdingareffect (15) is nog veel sterker. Het ijs lijkt achter de bomen op een haast overhangende, donkere klif. De donkere weerschijn is in werkelijkheid een vergroot beeld van het land aan de overkant van het meer, dertig kilometer verderop.

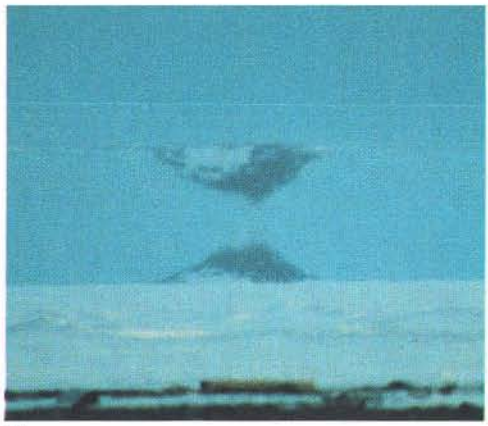
13

De Maelstroom

Het hafgerdingareffect gaf aanleiding tot andersoortige waarnemingen en rapportages dan de beide andere vormen van arctische luchtspiegeling. Ditmaal worden niet zozeer verafgelegen objecten dichterbij gehaald, maar treedt er een vervorming op van de omgeving. Door de kromming van het licht lijkt de aarde niet langer bol of plat, maar veeleer hol; de kim verheft zich als het ware boven de vertrouwde positie. Volgens Lehn heeft het veelvuldig zien



11



12

14

15

van dergelijke luchtspiegelingen een belangrijke bijdrage geleverd aan het in stand houden van het wereldbeeld waarin de aarde als een platte schijf wordt voorgesteld.

De verhalen van middeleeuwse zeelieden over grote draaikolken en wervels op zee, die scheepsrampen veroorzaakten, berusten volgens Lehn eveneens op arctische luchtspiegelingen. In het noordelijk deel van de Atlantische Oceaan zijn die tamelijk algemeen. Onderzeese aardbevingen kwamen in die streken te weinig voor om aanleiding te kunnen geven tot legendevorming. Ook de krachtige zeestroming vol met wervels bij de Lofoten (voor de noordkust van Noorwegen), ook wel aangeduid als Maelstroom, is als bron voor de talloze verhalen van de zeelieden onwaarschijnlijk.

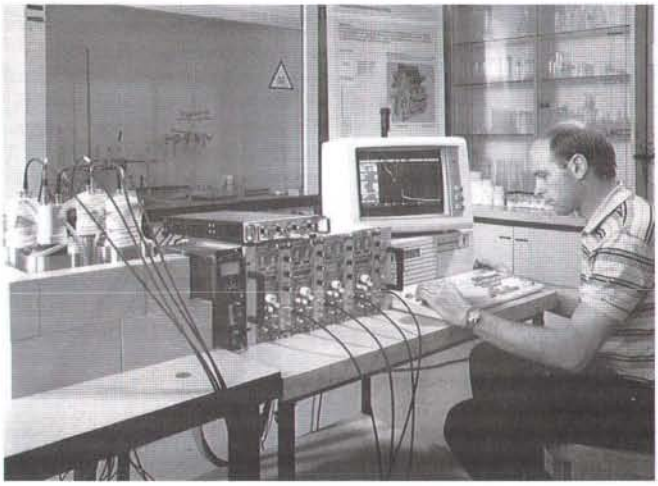
De luchtspiegelingen boven de koude wateren van de noordelijke Atlantische Oceaan zijn in Lehns visie dus niet slechts schitterende en opmerkelijke natuurverschijnselen waaraan toevallige waarnemers en actief speurende onderzoekers hun hart kunnen ophalen. Vermoedelijk hebben ze tevens een bijdrage geleverd aan het wereldbeeld van onze verre voorouders en hielpen ze vroege ontdekkingsreizigers hun horizon te verruimen.

Bronvermelding illustraties

Voor de meeste afbeeldingen bij dit artikel zijn wij dank verschuldigd aan Prof. W.H. Lehn, Department of Electrical & Computer Engineering, University of Manitoba, Winnipeg, Canada. Hij stelde zijn materiaal welwillend ter beschikking. De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur (1, 2, en 5) en van R. Smoluchowski, Austin, VS (3).

Radioactieve slijtage

De duurzaamheid van produkten hangt voor een belangrijk deel af van de kwaliteit van hun oppervlak. Met een nieuwe meetmethode, de dunne-laagactivering (TLA), is het mogelijk om materiaalverlies door slijtage of corrosie tot op een diepte van nog geen micrometer aan te tonen.
TLA maakt gebruikt van radioactieve atomen, die speciaal voor dat doel op een diepte van 10 tot 200 μm in een metaaloppervlak zijn aangebracht. De benodigde concentratie radioactieve atomen is zeer laag, ongeveer een op de tien miljard. Daardoor blijven de mechanische en chemische eigenschappen van het metaal onveranderd. Vanwege de extreem lage radioactiviteit van het monster is het noodzakelijk om het meetsysteem af te schermen van natuurlijke bronnen van radioactiviteit.
Er zijn twee meetmethoden. De verschilbepaling gaat uit van de afname van de radioactiviteit van het oppervlak tijdens de proef. Onder optimale omstandigheden kan een slijtage van 0,01 μm nog worden geconstateerd. Bij de concentratiemethode wordt de toename van radioactiviteit in een koel- of smeervloeistof bepaald.
Putvorming in een oppervlak kan men ook bestuderen met TLA.



Door de lage radioactiviteit in de TLA-opstelling, zijn er slechts enkele veiligheidsmaatregelen nodig. (Foto: Sulzer)

Daartoe brengt men in het oppervlak twee verschillende isotopen op verschillende diepte aan. Met homogeen materiaal is er een bepaalde verhouding tussen de activiteit van de isotopen. Bij lokale verwering van het materiaal meet men meer activiteit van de dieper gelegen isotoop.

Deze techniek is met name geschikt voor het uittesten in het laboratorium van nieuwe machineonderdelen, zoals cilinders, zuigers, kogellagers, maar ook reactievaten en kunstgewrichten. Tevens heeft men de erosie van transportleidingen en materiaalverlies in ventielen met TLA onderzocht.

(Persbericht Sulzer, Winterthur CH)

Pil zonder recept

De Amerikaanse hoogleraar dr David Grimes is er stellig van overtuigd dat vrouwen geen recept nodig moeten hebben om de pil te krijgen. Volgens hem "biedt de pil zoveel voordelen, dat vrouwen die besluiten de pil niet te slikken, beter eerst hun arts kunnen raadplegen".
Grimes baseert zijn standpunt op de beschermende werking van de pil tegen kanker van het baarmoederslijmvlies en de eierstokken. Naar zijn zeggen hebben pilgebruiksters vijftig procent minder kans op deze aandoeningen. Bovendien biedt de pil vijftig procent bescherming tegen ontsteking van de vrouwelijke geslachtsorganen en 45 procent bescherming tegen bloedarmoede door ijzergebrek, twee kwalen die in sommige landen nog levensbedreigend kunnen zijn. Daarnaast biedt de pil vijftig procent minder kans op een pijnlijke menstruatie. Grimes schat dat het gebruik van de pil in de VS bijna 58 000 ziekenhuisopnamen heeft voorkomen, tegenover 9400 opnamen in de VS die zijn veroorzaakt door pilgebruik.

(Nieuwsbrief Stichting MFR, Utrecht)

Van DNZ tot ubichinon

Hooghwinkel, prof dr GJM. Humane biochemie. VIII + 408 blz., ƒ 99,50, 1990 F. Paperback, geïllustreerd. ISBN 90-6348-066-0. Bunge, Utrecht.

Biochemie is een zeer internationale wetenschap. Die indruk wordt in ieder geval gewekt bij een bezoek aan een willekeurig biochemisch laboratorium, waar onderzoekers en laboranten een jargon hanteren met veel Engelse en Amerikaanse woorden. En dit taalgebruik wint via boeken en tijdschriften ook terrein buiten de muren van instituut en ziekenhuis. Om een oud en simpel voorbeeld te noemen: waar men in Duitsland spreekt over DNS en de Fransen het woord ADN hanteren, is DNA al lange tijd ingeburgerd in het Nederlandse taalgebied. Ons DNZ heeft nooit een kans gekregen.

Bij Bunge is een lijvig, nederlandstalig leerboek over biochemie verschenen. Een boek dat zich richt op de universitaire student geneeskunde, maar volgens het voorwoord eveneens geschikt is voor studenten aan paramedische hogere beroepsopleidingen en, als naslagwerk, voor artsen, klinisch-chemici en molekulairbiologen.

De eerste helft van het boek heeft de toepasselijke titel *Algemene biochemie* en behandelt met name de cellulaire biochemie. Na de behandeling van koolhydraten, aminozuren, eiwitten, lipiden en nucleïnezuren, vervolgt de auteur met het behandelen van levensprocessen in hoofdstukken over enzymologie, bio-energetica en biologische oxydatie.

Kan men de eerste helft van het boek zien als een soort verplichte figuur, dan is het tweede deel genaamd *Bijzondere biochemie* te omschrijven als een aantrekkelijke vrije kuur. In veertien korte hoofdstukken behandelt de auteur onderwerpen uit de humane biochemie, waaronder *diabetes mellitus,* endocrinologie en chemische aspecten van de oncologie. Als het boek niet in eerste instantie voor geneeskundigen was geschreven, had de auteur wellicht termen gebruikt als suikerziekte, hormoonwerking en kanker. Ondanks de beperkte beschikbare ruimte, weet de auteur in ieder hoofdstuk een aardig beeld van het onderwerp te schetsen. De vele genoemde feitjes maken dat ieder hoofdstuk inderdaad geschikt is om de kennis even op te vijzelen.

Het boek is vrij sober uitgevoerd. Er zijn bijvoorbeeld geen kleurenafbeeldingen opgenomen. Door het gebruik van diverse stijlen voor de vele schema's, maakt het boek een rommelige indruk. De variabele kolomlengte draagt hiertoe ook bij; niet alleen zijn sommige pagina's een of twee regels langer, maar soms verschillen zelfs de kolommen op één pagina van lengte. Wat betreft de vormgeving is dit boek dus lang niet zo aantrekkelijk als 'Stryer' of 'Lehninger', Amerikaanse biochemieklassiekers. Maar gezien het beperkte afzetgebied van Nederlandstalige studieboeken en de prijs van nog geen honderd gulden, is het logisch dat de uitvoering wat minder luxueus is.

Humane biochemie is overzichtelijk opgebouwd en voor een leerboek tamelijk onderhoudend geschreven. Het grootste voordeel van dit boek is wellicht dat het is geschreven in onze eigen taal. Misschien dat dit boek een klein beetje kan bijdragen aan het verhelderen van het taalgebruik in Nederlandse en Vlaamse laboratoria. In een volgende druk dienen nog wel enkele veranderingen worden aangebracht, zoals het vervangen van het woord *ubiquinon* door *ubichinon.* En misschien bestaan er tegen die tijd ook Nederlandse termen voor *shuttle, subunit* en *shunt.*

Erick Vermeulen

NATUUR & TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau BV te Maastricht.
Redactie en administratie zijn te bereiken op:
Voor Nederland:
Postbus 415, 6200 AK Maastricht.
Voor België:
Boechtstraat 15,
1860-Meise/Brussel.
Bezoekadres:
Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.
Telefoon: 0(0-31)43 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur).
Telefax: 0(0-31)43 216124.

Advertenties:
Publiciteitsbureau
Spoor & Partners BV (lid VOME)
Postbus 200
2060 AE Bloemendaal
Telefoon: 0(0-31)23 271114
Telefax: 0(0-31)23 254045
Telex: 41529 spoor nl

Voor nieuwe abonnementen:
0(0-31)43 254044 (tot 20.30 uur, óók in het weekend).

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): ƒ 125,— of 2450 F.
Voor drie jaar: ƒ 320,— of 6275 F.
Prijs voor studenten: ƒ 95,— of 1860 F.
Overige landen: + ƒ 35,— extra porto (zeepost) of + ƒ 45,— tot ƒ 120,— (luchtpost).
Losse nummers: ƒ 11,75 of 230 F (excl. verzendkosten).
Distributie voor de boekhandel:
Betapress BV, Gilze. Tel.: 01615-7800.

Abonnementen op NATUUR & TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari òf per 1 juli (eventueel met terugwerkende kracht), doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.
Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang.
TUSSENTIJDS kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:
Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur & Techniek te Maastricht.
Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur & Techniek te Brussel.

Bankrelaties:
Voor Nederland: AMRO-Bank NV te Heerlen, nr. 44.82.00.015.
Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 423-907 0381-49.

SIMULATICA

Prof dr
H.A. Lauwerier

Kerststerren

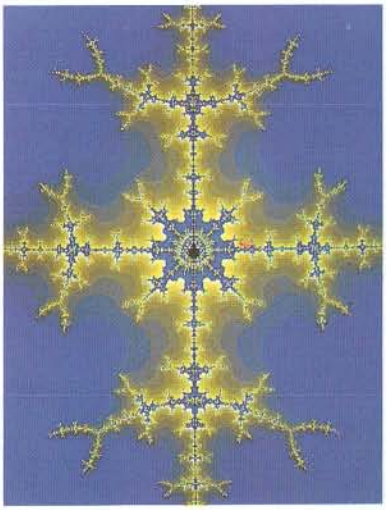
Er bestaan heel wat methoden om met behulp van een computer sterren te voorschijn te toveren op het beeldscherm. Dat gaat al heel eenvoudig met behulp 'SHIFT 8' of een klein beetje meetkunde en wat computeranimatie. Ingewikkelder maar veel mooier zijn sterren die zijn opgebouwd als fractalen waaraan een draaiingssymmetrie ten grondslag ligt. Computerliefhebbers kennen de kleurrijke Juliaverzamelingen en natuurlijk de bekende Mandelbrotverzameling, en daaraan kunnen we fraaie sterren ontlenen. Enkele voorbeelden staan op deze pagina's afgebeeld.

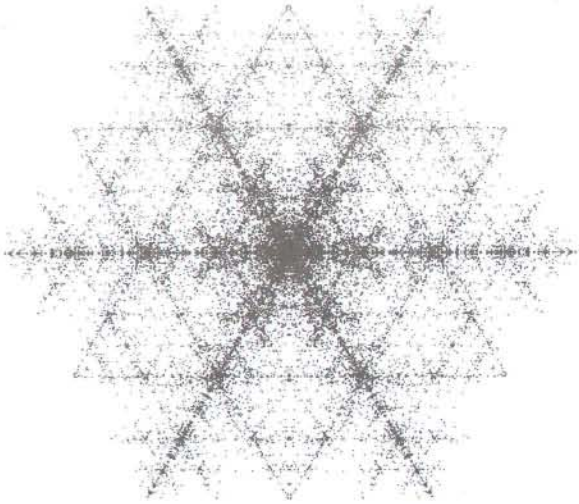
Voor het maken van een programma van een sterachtig object is wel enig meetkundig inzicht noodzakelijk. De hoofdzaak is dat er in het programma een draaiingssymmetrie aanwezig is. Laten we eens kijken naar een zevenpuntige ster. Daartoe stellen we de hoek α gelijk aan het zevende deel van 2π. We laten de figuur draaien rond de oorsprong volgens de rotatieformules:

$x' = x \cos\alpha - y \sin\alpha$, $y' = x \sin\alpha + y \cos\alpha$. Als de figuur bij de rotatie niet verandert, dan kunnen we een ster met zeven stralen verwachten. Wie enigszins bekend is met complex rekenen weet dat de nulpunten van z^7-1 op een cirkel liggen, en dat die punten de uiteinden kunnen zijn van een zeventallige ster. In gewone taal gaat het om hoekpunten met de coördinaten $\cos k\alpha, \sin k\alpha$, waarbij k van 0 tot 6 loopt. Het Qbasic-programma STARMOVE maakt eerst ergens op het beeldscherm een klein zeventallig sterretje. Na de opdracht van de vorm GET-"rechthoek"STAR%, bergt het programma het sterretje vervolgens op in een numerieke array STAR%. Bij dat opbergen moeten we letten op de grootte van de op te bergen beeldschermrechthoek waarin het figuurtje past, en op het aantal bytes dat daarvoor nodig is. Dat laatste kan de lezer misschien het eenvoudigste proefondervindelijk vaststellen. Na deze voorbereiding kan een computeranimatie zijn aanvang nemen. We definiëren een Lissajouskromme die ons over het beeldscherm voert en we laten het sterretje daarover lopen. Op elke gewenste positie (x,y) kan het sterretje tevoorschijn worden geroepen door de PUT (X,Y),STAR% opdracht. Uiteraard laat het programma nog allerlei variaties toe, zoals een andere keuze van de Lissajouskromme of de gebruikte kleuren.

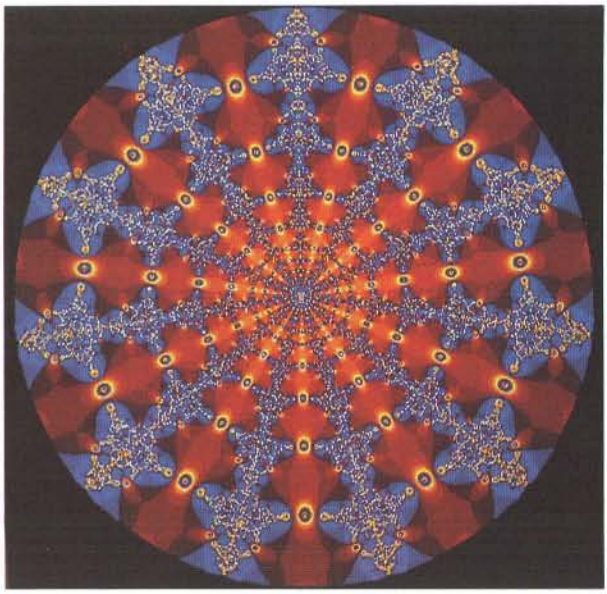
Vervolgens stellen we ons tot taak een zestallige fractale ster te ontwerpen. Daartoe poneren we dat de ster niet van vorm verandert (invariant is) voor een drietal gelijkvormigheidstransfor-

```
REM ***Naam:STARMOVE***
   SCREEN 12 : CLS
   DIM X(7),Y(7),STAR%(480)
   XM=320 : YM=240 : PI=4*ATN(1)
REM ***Definitie ster***
   FOR K=0 TO 6
      X(K)=40+16*COS(2*K*PI/7)
      Y(K)=40+12*SIN(2*K*PI/7)
   NEXT K
   FOR K=0 TO 6 : L=(K+4) MOD 7
      LINE (X(K),Y(K))-(X(L),Y(L)),10
   NEXT K
   GET (20,20)-(60,60),STAR% : CLS : K=0
REM ***Hoofdlus***
   DO WHILE INKEY$="" AND K<10000
      X=XM+240*COS(K*PI/25) : Y=YM+180*SIN(K*PI/30)
      PUT (X,Y),STAR% : PUT (2*XM-X,Y),STAR%
      K=K+1
   LOOP
END
```





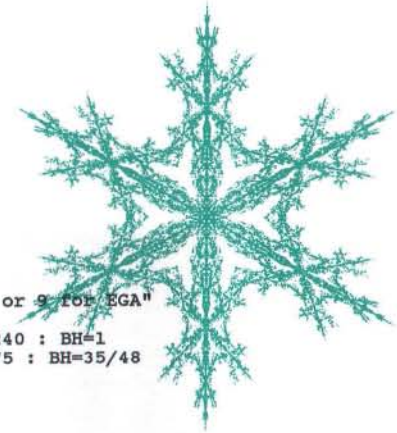
maties. Een van de transformaties is natuurlijk de rotatie over een hoek van 60° ($\pi/3$ in radialen). Om ervoor te zorgen dat de ster in een cirkel om de oorsprong met straal 1 past, kiezen we als tweede transformatie een centrale vermenigvuldiging vanuit (1,0) met factor 1/2. We verwachten tenslotte dat de ster in de oorsprong een zekere massa-ophoping zal bezitten. Als derde transformatie kiezen we daartoe een eenvoudige contractie x'=x/2 en y'=y/3. De factoren 2 en 3 zijn overigens een beetje op goed geluk gekozen.
Alles is klaar, de ster is nu wiskundig gedefinieerd als de kleinste puntverzameling die invariant is voor de genoemde drie transformaties. Om de ster, of beter een benadering daarvan, tevoorschijn te brengen, moeten we het zogenaamde 'spel van chaos en orde' spelen. We beginnen met een willekeurig beginpunt en we onderwerpen dat punt op stochastische wijze, al dobbelend dus, aan een van de drie transformaties. Het resultaat is een baan die wordt aangetrokken door de sterfractal. Gezien de zestallige symmetrie kunnen we met elk berekend punt tegelijk een elftal andere punten afbeelden. Het resultaat, rechtsboven afgebeeld, was ook voor de auteur bij deze eerste poging heel bevredigend. De lezer en computeraar wordt uitgenodigd in het programma STARFRAC zelf varianten aan te brengen. In de subroutine trafo2 kan men ook kiezen voor de algemenere formule x'=(x+a)/(1+a), y'=y/b,
en in de subroutine trafo3 voor x'=x/c, y'=y/d.



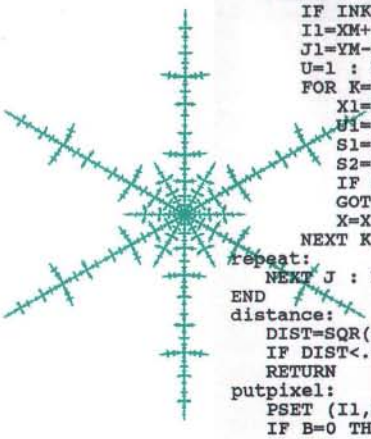
Tenslotte kunnen in de door R1 en R2 bepaalde loterij andere waarden worden gekozen, zolang maar $0 < R1 < R2 < 1$. In de afbeelding rechts op pag. 954 is bijvoorbeeld de keuze a=1, b=4, c=1, d=10, R1=.8 en R2=.95 gemaakt. We verkrijgen de mooiste Julia-fractals van het bekende kwadratische type $z \rightarrow z^2+c$, als het beeldpunt van c net op de rand van de Mandelbrot-set of even daarbuiten ligt. De Julia-set kan dan bestaan uit een verzameling van steeds kleinere spiralen, olifantenslurfjes en zeepaardjes. Hieronder geven we een

```
REM ***Naam:STARFRAC***
   SCREEN 12 : CLS
   WINDOW (-1.6,-1.2)-(1.6,1.2)
   PI=4*ATN(1) : RANDOMIZE 11
   A=COS(PI/3) : B=SIN(PI/3)
   X=.5 : Y=.5 : K=0
   R1=1/2 : R2=3/4
   DO WHILE K<5000 AND INKEY$=""
      R=RND
      SELECT CASE R
         CASE <R1
         GOSUB trafo1
         CASE <R2
         GOSUB trafo2
         CASE <1
         GOSUB trafo3
      END SELECT
      IF K>32 THEN GOSUB pointset
      K=K+1
   LOOP : BEEP
END
trafo1:
   Z=X : X=A*X-B*Y : Y=B*Z+A*Y
   RETURN
trafo2:
   X=(1+X)/2 : Y=Y/2
   RETURN
trafo3:
   X=X/2 : Y=Y/3
   RETURN
pointset:
   FOR I=1 TO 6 : GOSUB trafo1
      PSET (X,Y),14 : PSET (X,-Y),14
   NEXT I
   RETURN
```

programma, JDIST, waarmee we een grote nauwkeurigheid kunnen bereiken. Over de achterliggende wiskundige theorie (een schatting van de afstand van een willekeurig punt tot de rand van de Julia-set) kunnen we hier niet ingaan. Hier gebruiken we het programma voor de reële waarde c=−1.54. De Julia-set is dan een soort staafantenne met zijsprieten met zijsprieten . . ., een zogenaamde dendriet. In de afbeelding linksonder hebben we met drie exemplaren daaruit een ster gevormd. Wie het programma voor andere waarden wil gebruiken, kan bijvoorbeeld a=.11031, b=.67037 of a=−.74543, b=.11301 nemen (a en b zijn het reële en het complexe deel van c).
De programma's zijn geschreven in de Qbasic-versie behorend bij MS-DOS 5.0.



```
REM ***Name:JDIST***
   DEFDBL A,B,D,S,X,Y,U,V
   CLS : PRINT"Press 12 for VGA or 9 for EGA"
   INPUT"Screen = ",SCR%
   IF SCR%=12 THEN XM=320 : YM=240 : BH=1
   IF SCR%=9 THEN XM=320 : YM=175 : BH=35/48
   SCREEN SCR% : CLS
REM ***Parameters and size***
   A=-1.54 : B=0
   DELH=1.9 : DELV=.6 : N1=200
   N2=INT(BH*N1*DELV/DELH)
   IF B=0 THEN N3=0 ELSE N3=-N2
REM ***Main program***
   FOR I=0 TO N1 : FOR J=N3 TO N2
      IF INKEY$<>"" THEN END
      I1=XM+I : I2=XM-I : X=I*DELH/N1
      J1=YM-J : J2=YM+J : Y=J*DELV/N2
      U=1 : V=0
      FOR K=1 TO 400
         X1=X*X-Y*Y+A : Y1=2*X*Y+B
         U1=2*(U*X-V*Y) : V1=2*(U*Y+V*X)
         S1=X1*X1+Y1*Y1
         S2=SQR(U1*U1+V1*V1+.00001)
         IF S1>256 OR S2>256 THEN GOSUB distance
         GOTO repeat
         X=X1 : Y=Y1 : U=U1 : V=V1
      NEXT K
repeat:
      NEXT J : NEXT I
END
distance:
   DIST=SQR(S1)*LOG(S1+.0000001)/S2
   IF DIST<.5*DELH/N1 THEN GOSUB putpixel
   RETURN
putpixel:
   PSET (I1,J1),14 : PSET (I2,J2),14
   IF B=0 THEN PSET (I1,J2),14 : PSET (I2,J1),14
   RETURN
```



Inhoud 1991

Het **trefwoordenregister** 1991 krijgt u automatisch toegestuurd bij bestelling van een **opbergcassette** voor de jaargang 1991 of 1992. Een overschrijfformulier hiervoor kunt u eind februari 1992 verwachten, te zamen met het formulier voor uw abonnementsgeld.

Voor bezitters van een MS-DOS-computer heeft Jan Boon uit Zwolle alle titels, subtitels, auteurs, rubrieken en een selectie trefwoorden vanaf oktober 1974 ondergebracht in een dBaseIV-bestand. Belangstellenden krijgen een kopie thuisgestuurd nadat zij *f*20,- hebben overgemaakt op gironummer 3447819 t.n.v. J. Boon te Zwolle, onder vermelding van **'bestand Natuur & Techniek'** en het gewenste disketteformaat, te weten 3,5" of 5,25".

Register volgens auteursnamen

Amblard, Jean
zie Belloni-Cofler

Bais, F.A. en Muller, F.A.
Supersnaren 9-672

Bakker, K.
Seks - Oorsprong en betekenis van geslachtelijke voortplanting 7-512

Balkwill, Frances
Cytokinen - De eiwitwapens van het lichaam in nr. 11

Beek, P.J.
Neurale netwerken - Brein model voor computers, computers model voor het brein 3-194

Beelen, R.H.J.
Immunologische orgaantjes - Afweer ter plaatse 6-472

Belloni-Cofler, Jacqueline, Amblard, J., Marinier, J.-L. en Mostafavi, M.
Het ontwikkelingsvraagstuk - Zwart/wit 10-780

Berendse, H.W.
zie Groenewegen

Berg, A.M. van den
De kern van het verval - Protokernen en radioactiviteit 8-612

Berkenbosch, Frank
Mentale weerstand - Psyche en immunologie 9-660

Bongers, F. en Sterck, F.J.
Kroonjuwelen - De verborgen weelde van het regenwoud 8-576

Boon, M.
Achter de schermen - Een kijkje in 't lab 7-552

Brongers, J.A.
Pottekijken in de Middeleeuwen - Schinveld in scherven 5-382

Bruyn, G.J. de
Rode bosmieren - Een levend volk 5-344

Cock Buning, Tj. de
Dierproeven - Verminderen, verfijnen of vervangen 3-158

Craats, Jan van de
Verborgen priemgetallen - Het nieuwe bankgeheim 11-832

Cramer, F.
zie Frese

Damerow, Peter, Englund, Robert K. en Nissen, Hans J.
Indrukken in klei - Het begin van het getal 9-696

Damme, P. Van
Wijs met water - Droogte-aanpassingen bij planten 6-460

Deslypere, J.P.
Hormonaal pensioen - Mannen in de overgang 2-90

Duppen, Piet Van
zie Huyse

Englund, Robert K.
zie Damerow

Epstein, Arthur J.
zie Miller

Fifield, Richard
De structuur van de aarde in nr. 1

Floor, C.
Blijft het droog vanmiddag? - Weersverwachting op de korte termijn 8-600

Floor, C.
Spiegelen in koude lucht - Willem Barentsz en het Monster van Loch Ness 12-940

Frants, R.R.
Kopieën kopiëren - De polymerasekettingreactie 3-182

Frese, W. en Cramer, F.
Kostbare precisie - Vertaalenzymen tussen DNA en eiwit 8-590

Giard, R.W.M.
Statistiek in de kliniek - De diagnose doorgelicht 4-260

Gispen, W.H.
Behoud van impuls - Neuropeptiden en zenuwherstel 4-296

Gribbin, John
De quantumwereld in nr. 3

Gribbin, Mary
Slaap - Activiteit in rust 5-320

Groenewegen, H.J., Berendse, H.W. en Wolters, E.Ch.
De ziekte van Parkinson - Beweging in de hersenen 5-368

Haan, Theo de
Reliëf in platte beelden - Driedimensionale bewegingsregistratie 9-708

Hecht, Jeff
Lasers - Het licht laten werken in nr. 10

Heller, Wendy
De brug in het brein - Twee helften, één gedachte 1-50

Huisman, Gjalt
zie Witholt

Hus, J.J.
Aards magnetisme - Het veranderende veld 7-528

Huyse, Mark en Duppen, Piet Van
De kernenkringloop - Over sterrenas en een vink in het stadion 10-744

Jansen, F.W.
Computer-graphics - Venster op 3D 4-234

Janssen, P.M.W. en Willems, J.L.
Mensen meten - Chemie in de kliniek 1-26

Kaptein, R.
Meervoudig meten - Nobelprijs scheikunde 1991 12-912

Karemaker, John M.
Bloeddruk en zwaartekracht
1. Fijnregeling op niveau 10-756
2. Rigoureuze regulatie 11-820

Kempe, Stephan
De oeroceaan - Een sodazee 3-206

Kennes, Ad
Zweefvliegen 6-412

Kienhuis, H.
Chemie in gevechtstenue - Bijtend, verstikkend en verlammend 5-354

Kroes, J.L. de
Telefoon - Een wereldomvattend apparaat 9-648

Leeuwen, J.M.J. van
Hersenspinsels - Nobelprijs natuurkunde 1991 12-896

Leeuwis, H.
Micromechanica - Chips in beweging 3-182

Licht, R.
zie Spyer

Linnartz, H. en Schleipen, J.
Laserspectroscopie 11-856

Maarschalkerwaart, H.M.C.M. van
Overbruggen - Verbinding tussen kracht en kennis 7-540

Marignier, Jean-Louis
zie Belloni-Cofler

Meijer, F.
De nanometerdimensie - Grensvlak tussen wetenschap en techniek 1-38

Merckelbach, H.L.G.J.
Fobische reacties - Aandacht voor angsten 10-732

Miller, Joel S. en Epstein, Arthur J.
De spin in het gelid - Magnetische molekulen 2-110

Mostafavi, Mehran
zie Belloni-Cofler

Muijlwijk, R.
De maat gemeten - IJken en kalibreren 5-332

Mulders, P.J.G.
Spinpuzzel - De rol van de tollende quarks 6-448

Nissen, Hans J.
zie Damerow

Oort, J.H.
Middenin de melkweg - Kernactiviteit in sterrenstelsels 2-78

Paans, R.
Computerbeveiliging - Tegen klunzen, crashes en criminelen 8-624

Palm, L.C.
zie Snelders

Payer, Lynn
Grensgevallen - Culturen in de westerse geneeskunde 6-424

Peters, R.C. en Vijverberg, H.P.M.
Signaal per kanaal - Nobelprijs fysiologie 1991 12-904

Preusting, Hans
zie Witholt

Priem, Harry N.A. en Vlaar, Nico J.
Aardse lichamen - Geologie in het Zonnestelsel 10-768

Reijnders, Peter
Zeehonden - Grenzeloos aanpassingsvermogen? 11-844

Rutten, R.J.
Het pad van de schaduw - Zonsverduistering - 11 juli 1991 7-500

Sandage, Allan
De kromming van de ruimte - Een speurtocht in het heelal 4-246

Sanden, W.A.B. van der
Veenlijken 2-98

Schleipen, J.
zie Linnartz

Snelders, H.A.M. en Palm, L.C.
Van eigenschap tot element - De wortels van een wetenschap 4-272

Spyer, G. en Licht, R.
Dyslexie - Lastig leren lezen 2-122

Sterck, F.J.
zie Bongers

Sutton, Christine
Zwaartekracht en elektromagnetisme in nr. 12

Thum, Martin
Zonnedauw - Vleeseter beroofd 12-932

Verhoeven, J.W.
Laden met licht - Organische dioden en schakelaars 1-14

Vile, Richard
Kanker en oncogenen in nr. 2

Vijverberg, H.P.M.
zie Peters

Vlaar, Nico J.
zie Priem

Vossen, H.A.M. van der
Het grote genoegen - Een wereld vol koffie 11-808

Wiggers, J.B.M.
Riolering - Wel en wee 1-2

Willems, J.L.
zie Janssen

Witholt, Bernard, Huisman, Gjalt en Preusting, Hans
Natuurlijke kunststof - Polyester uit bacteriën 6-438

Wolters, E.Ch.
zie Groenewegen

Woodward, Ian
Broeikaseffect en plantendek 4-284

Woude, A.S. van der
De Dode-Zeerollen - Bericht uit Jezus' tijd 12-920

Register van artikelen

Aardwetenschappen

De structuur van de aarde in nr. 1
Fifield, Richard

De oeroceaan - Een sodazee 3-206
Kempe, Stephan

Aards magnetisme - Het veranderende veld 7-528
Hus, J.J.

Aardse lichamen - Geologie in het Zonnestelsel 10-768
Priem, Harry N.A. en Vlaar, Nico J.

Archeologie

Veenlijken 2-98
Sanden, W.A.B. van der

Pottekijken in de Middeleeuwen - Schinveld in scherven 5-382
Brongers, J.A.

Indrukken in klei - Het begin van het getal 9-696
Damerow, Peter, Englund, Robert K. en Nissen, Hans J.

De Dode-Zeerollen - Bericht uit Jezus' tijd 12-920
Woude, A.S. van der

Biologie

Dierproeven - Verminderen, verfijnen of vervangen 3-158
Cock Buning, Tj. de

Rode bosmieren - Een levend volk 5-344
Bruyn, G.J. de

Wijs met water - Droogte-aanpassingen bij planten 6-460
Damme, P. Van

Immunologische orgaantjes - Afweer ter plaatse 6-472
Beelen, R.H.J.

Seks - Oorsprong en betekenis van geslachtelijke voortplanting 7-512
Bakker, K.

Kroonjuwelen - De verborgen weelde van het regenwoud 8-576
Bongers, F. en Sterck, F.J.

Kostbare precisie - Vertaalenzymen tussen DNA en eiwit 8-590
Frese, W. en Cramer, F.

Bloeddruk en zwaartekracht
- 1. Fijnregeling op niveau 10-756
- 2. Rigoureuze regulatie 11-820
Karemaker, John M.

Zeehonden - Grenzeloos aanpassingsvermogen? 11-844
Reijnders, Peter

Signaal per kanaal - Nobelprijs fysiologie 1991 12-904
Peters, R.C. en Vijverberg H.P.M.

Zonnedauw - Vleeseter beroofd 12-932
Thum, Martin

Geneeskunde

Mensen meten - Chemie in de kliniek 1-26
Janssen, P.M.W. en Willems, J.L.

Hormonaal pensioen - Mannen in de overgang 2-90
Deslypere, J.P.

Kanker en oncogenen in nr. 2
Vile, Richard

De ziekte van Parkinson - Beweging in de hersenen 5-368
Groenewegen, H.J., Berendse, H.W. en Wolters, E.Ch.

Grensgevallen - Culturen in de westerse geneeskunde 6-424
Payer, Lynn

Cytokinen - De eiwitwapens van het lichaam in nr. 11
Balkwill, Frances

Informatica

Computer-graphics - Venster op 3D 4-234
Jansen, F.W.

Computerbeveiliging - Tegen klunzen, crashes en criminelen 8-624
Paans, R.

Milieu

Broeikaseffect en plantendek 4-284
Woodward, Ian

Natuurkunde

De nanometerdimensie - Grensvlak tussen wetenschap en techniek 1-38
Meijer, F.

Micromechanica - Chips in beweging 3-182
Leeuwis, H.

De quantumwereld in nr. 3
Gribbin, John

De maat gemeten - IJken en kalibreren 5-332
Muijlwijk, R.

Spinpuzzel - De rol van de tollende quarks 6-448
Mulders, P.J.G.

De kern van het verval - Protokernen en radioactiviteit 8-612
Berg, A.M. van den

Supersnaren 9-672
Bais, F.A. en Muller, F.A.

De kernenkringloop - Over sterrenas en een vink in het stadion 10-744
Huyse, Mark en Duppen, Piet Van

Lasers - Het licht laten werken in nr. 10
Hecht, Jeff

Laserspectroscopie - Molekulen in de schijnwerpers 11-856
Linnartz, H. en Schleipen, J.

Hersenspinsels - Nobelprijs natuurkunde 1991 12-896
Leeuwen, J.M.J. van

Spiegelen in koude lucht - Willem Barentsz en het Monster van Loch Ness 12-940
Floor, C.

Zwaartekracht en elektromagnetisme in nr. 12
Sutton, Christine

Neurowetenschappen

De brug in het brein - Twee helften, één gedachte 1-50
Heller, Wendy

Dyslexie - Lastig leren lezen 2-122
Spyer, G. en Licht, R.

Neurale netwerken - Brein model voor computers, computers model voor het brein 3-194
Beek, P.J.

Behoud van impuls - Neuropeptiden en zenuwherstel 4-296
Gispen, W.H.

Slaap - Activiteit in rust 5-320
Gribbin, Mary

Mentale weerstand - Psyche en immunologie 9-660
Berkenbosch, Frank

Fobische reacties - Aandacht voor angsten 10-732
Merckelbach, H.L.G.J.

Nobelprijzen 1991

Hersenspinsels - Nobelprijs natuurkunde 1991 12-896
Leeuwen, J.M.J. van

Signaal per kanaal - Nobelprijs fysiologie 1991 12-904
Peters, R.C. en Vijverberg H.P.M.

Meervoudig meten - Nobelprijs scheikunde 1991 12-912
Kaptein, R.

Scheikunde

Laden met licht - Organische dioden en schakelaars 1-14
Verhoeven, J.W.

De spin in het gelid - Magnetische molekulen 2-110
Miller, Joel S. en Epstein, Arthur J.

Kopieën kopiëren - De polymerase-kettingreactie 3-182
Frants, R.R.

Van eigenschap tot element - De wortels van een wetenschap 4-272
Snelders, H.A.M. en Palm, L.C.

Chemie in gevechtstenue - Bijtend, verstikkend en verlammend 5-354
Kienhuis, H.

Natuurlijke kunststof - Polyester uit bacteriën 6-438
Witholt, Bernard, Huisman, Gjalt en Preusting, Hans

Het ontwikkelingsvraagstuk - Zwart/wit 10-780
Belloni-Cofler, Jaqueline, Amblard, J., Marignier, J.-L. en Mostafavi, M.

Meervoudig meten - Nobelprijs scheikunde 1991 12-912
Kaptein, R.

Sterrenkunde

Middenin de melkweg - Kernactiviteit in sterrenstelsels 2-78
Oort, J.H.

De kromming van de ruimte - Een speurtocht in het heelal 4-246
Sandage, Allan

Het pad van de schaduw - Zonsverduistering - 11 juli 1991 7-500
Rutten, R.J.

Techniek

Riolering - Wel en wee 1-2
Wiggers, J.B.M.

Zweefvliegen 6-412
Kennes, Ad

Overbruggen - Verbinding tussen kracht en kennis 7-540
Maarschalkerwaart, H.M.C.M. van

Telefoon - Een wereldomvattend apparaat 9-648
Kroes, J.L. de

Reliëf in platte beelden - Driedimensionale bewegingsregistratie 9-708
Haan, Theo de

Voeding

Het grote genoegen - Een wereld vol koffie 11-808
Vossen, H.A.M. van der

Weerkunde

Blijft het droog vanmiddag? - Weersverwachting op de korte termijn 8-600
Floor, C.

Wetenschap

Achter de schermen - Een kijkje in 't lab 7-552
Boon, M.

Wiskunde

Statistiek in de kliniek - De diagnose doorgelicht 4-260
Giard, R.W.M.

Verborgen priemgetallen - Het nieuwe bankgeheim 11-832
Craats, Jan van de

Kijk op wetenschap

De structuur van de aarde in nr. 1
Fifield, Richard

Kanker en oncogenen in nr. 2
Vile, Richard

De quantumwereld in nr. 3
Gribbin, John

Lasers - Het licht laten werken in nr. 10
Hecht, Jeff

Cytokinen - De eiwitwapens van het lichaam in nr. 11
Balkwill, Frances

Zwaartekracht en elektromagnetisme in nr. 12
Sutton, Christine

Analyse en Katalyse

De opmars der kunstmatige zintuigen 1-60
Simon Rozendaal

De waarheid over Tsjernobyl 2-132
Simon Rozendaal

Wetenschap moet eerlijk zijn 2-138
Paul Wouters

50 000 Lezingen per dag 2-142
Jaap Willems

De opkomst van de chaos 3-216
Simon Rozendaal

Professor in de Weetnietkunde 3-221
Simon Rozendaal

Een golf van verspilling 4-306
Paul Wouters

De wapens van de golfoorlog 4-311
Simon Rozendaal

De lichaamseigen geneesmiddelen: op zoek naar kwalen 5-392
Simon Rozendaal

Opkomst en ondergang van de handschriftkunde 5-399
Paul Wouters

500 kilo stikstof per hectare 6-482
Peter de Jaeger

De fuzzy logic hype 6-487
Simon Rozendaal

Een snelle tbc-test 6-490
John Zuidgeest

Wetenschapsanalfabetisme 7-562
Simon Rozendaal

De hommel als tomatenbestuiver 7-569
John Zuidgeest

De brug tussen Darwin en Genesis 8-636
Simon Rozendaal

Een beroepseed voor onderzoekers 8-640
Paul Wouters

De wetenschapsman Andrej Sacharov 9-720
Simon Rozendaal

De geboorte van het experiment 9-726
Paul Wouters

Meneer Tompkins, een kalende bankbediende 10-794
Simon Rozendaal

Wat is dat, mens zijn? 10-799
Paul Wouters

De computer als domme machine 11-870
Paul Wouters

Small is beautiful 11-874
Simon Rozendaal

De prijs der prijzen 12-884
Paul Wouters

De achterkant van de Nobelprijs 12-891
Simon Rozendaal

Simulatica

Cartografie 1-70
Chaos en de dierenwereld 2-146
Klevende clusters 3-230
Computer-graphics 4-316
De aantrekker van Hénon 5-402
Osmose 6-VI
De wet van Van der Waals 7-572
Draaien om een dubbelster 8-IV
Hénons dynamische systeem 9-X
Rollende cirkels 10-IV
Rekenen met gehele getallen 11-880
Kerststerren 12-952

Hoofdartikel

Verwondering 1-1
Oudere mannen 2-77
Ingrijpend 3-157
Voer voor filosofen 4-233
Standaardisatie 5-319
Eenheid van wetenschap? 6-411
Technologisch onderzoek 7-499
Beveiliging 8-575
Gedachtensprongen 9-647
Aardse planeten 10-731
Op de grens 11-807
Feest 12-883

Actueel

Molekulen tot leven gewekt 1-65
Bild der Wissenschaft

Alleen Natuur & Techniek mikt op de juiste doelgroep 1-66
Jaap Willems

De witte vlek van Saturnus 1-68
Persbericht ESO

Buizen bezichtigen 2-V
Persbericht Siemens AG

Zuiniger op zee 2-V
Persbericht DSM

Röntgenmicroscopie 2-VI
Persbericht Britse Ambassade

Kevers en kokende stralen 2-VII
Bild der Wissenschaft

Biosimulatie 2-152
Persbericht Sulzer

Ultraviolette koplampen 2-153
Persbericht Philips Lighting

Robolympics 2-154
Persbericht Britse Ambassade

Automatisering en heupgewrichten 2-IV
Persbericht Britse Ambassade

Terug naar de steppen 2-V
New Scientist

Kilo's condensatoren 5-406
Persbericht Siemens

140 Jaar computergeschiedenis 5-407
Mike Philips, London Press Service

Zuiverende plant 7-571
Persbericht Britse Ambassade

Lezingen op aanvraag 7-571
PWT

Levende bergen 10-802
Jacques Verduijn

Goed geroken 10-803
Marcel aan de Brugh

Olympiades in Nederland en België 10-804

Ruimtereis naar de aarde 11-IV
Jacques Verduijn

Golfslagkracht 12-IV
Persbericht Britse Ambassade

Stoorlicht 12-V
D.A. Schreuder

Radioactieve slijtage 12-950
Persbericht Sulzer

Pil zonder recept 12-950
Nieuwsbrief Stichting MFR

Boeken

Van Stevin tot Lorentz 3-228
Erick Vermeulen

Fractals op je scherm 5-408
Erick Vermeulen

Wisselvallig 6-495
Geert Hendrickx

Van DNZ tot ubichinon 12-951
Erick Vermeulen

AIDS

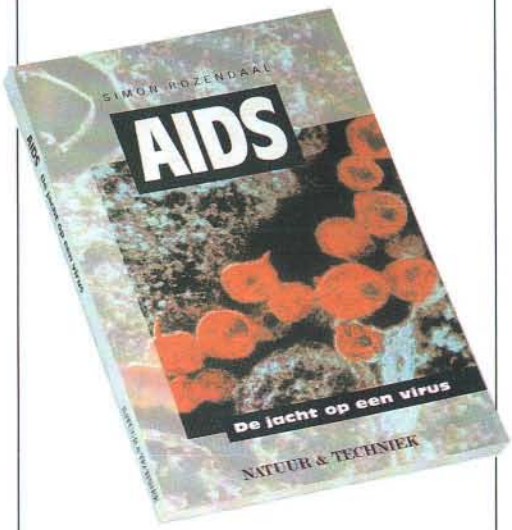
Een AIDS-special in boekvorm

168 pagina's met een schat aan verduidelijkende schema's en illustraties in vierkleurendruk. Een boek over AIDS met als titel: *De jacht op een virus.*

De hoofdtekst is geschreven door de bekende wetenschapsjournalist ir Simon Rozendaal. Verder bevat het boek een aantal bijdragen van zo'n twintig vooraanstaande virologen, immunologen, hematologen en epidemiologen uit binnen- en buitenland, plus een inleiding van de ontdekker van het AIDS-virus: professor Luc Montagnier.

Deze rondgang langs de belangrijkste centra van onderzoek laat de lezer van zeer nabij getuige zijn van de internationale jacht op het meest gevreesde en meest ongrijpbare virus van de mensheid, inclusief de belastende feiten, de sterke en zwakke vermoedens, maar ook de onenigheid in het forum van de wetenschappelijke 'getuigen'.

Prijs *f* 35,- of 685 F, voor abonnees *f* 25,- of 490 F.
Zie de bestelkaart voor in dit nummer.



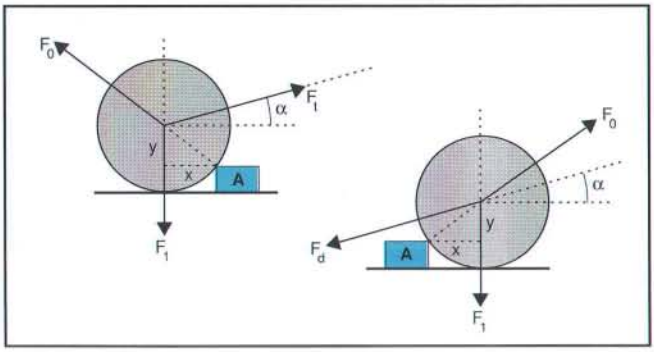
Oplossing oktoberopgave

In het oktobernummer zwoegde de professor met een kruiwagen die hij over een drempel moest krijgen. De kracht die de professor levert is gericht langs de stang tussen de handgreep en de as van het wiel. We noemen deze kracht F_d bij het duwen en F_t bij het trekken. De hoek van de drempel waarop het wiel van de kruiwagen rust, is het draaipunt A. De as van het wiel beschrijft een cirkelvormige baan rond A. We gaan nu de momenten van de krachten in de as ten opzichte van A berekenen. Bij duwen geldt op het moment van bewegen:

$$F_1 x - F_d y \cos\alpha + F_d x \sin\alpha = 0.$$

Bij trekken geldt op het moment van bewegen:

$$-F_1 x + F_t y \cos\alpha + F_t x \sin\alpha = 0.$$



Hieruit volgt dat:

$$\frac{F_d}{F_t} = \frac{y\cos\alpha + x\sin\alpha}{y\cos\alpha - x\sin\alpha} \geq 1$$

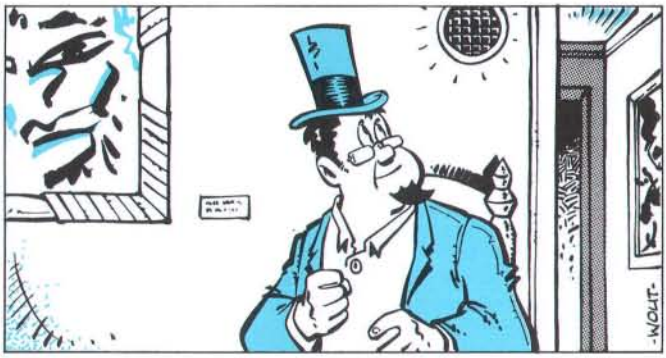
voor $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$

Duwen van een kruiwagen over een drempel kost dus meer kracht dan trekken.

De lootprijs, een boek naar keuze uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek, komt ditmaal terecht bij J.C. de Groot uit Aarle-Rixtel. Het gratis jaarabonnement op Natuur & Techniek, dat wij maandelijks verstrekken aan de aanvoerder van de laddercompetitie, gaat naar E.J. Nijhof uit Vianen.

Nieuwe opgave

Als de professor een wandeling door het plaatselijke museum maakt, raakt hij in gesprek met de suppoost. Die goede man is zeer verkouden en klaagt over de vochtigheid in het gebouw. Zelfs de schilderijen in de kelder zijn beschimmeld! De professor, die een groot kunstliefhebber is, besluit actie te ondernemen. Hij wil een luchtdroger ontwerpen, gebaseerd op een reactiebed met een zeoliet die alle watermolekulen bindt. Te droge lucht is echter ook niet goed voor de schilderijen. Dan trekken de lijsten krom. Daarom moet een deel van de lucht langs het bed worden geleid, via een zogenaamde bypass. De professor kan beschikken over 900 kilogram zeoliet. Hij wil daarmee het watergehalte van de lucht, 0,030 mol per mol droge lucht, met twee derde verminderen. De zeoliet absorbeert maximaal twintig massaprocent water. De professor roept graag de hulp



van de lezers in bij het oplossen van dit netelige probleem. Daarbij gaat het om de volgende vragen. Hoe moet het stroomschema van de installatie er uitzien? Als de totale hoeveelheid te behandelen lucht 500 kilomol per uur is, hoeveel water moet er dan worden verwijderd (in kmol per uur)? Welk deel van de lucht moet door de bypass gaan? Hoelang duurt het voordat 900 kilogram zeoliet is verzadigd met water?

Inzenders maken kans op de lootprijs, een boek naar keuze uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek, en verdienen punten voor de laddercompetitie. Dan moeten de antwoorden op deze vragen wel uiterlijk 8 januari 1992 zijn gearriveerd bij de puzzelredactie:
Natuur & Techniek
Puzzelredactie
Postbus 415
6200 AK Maastricht.

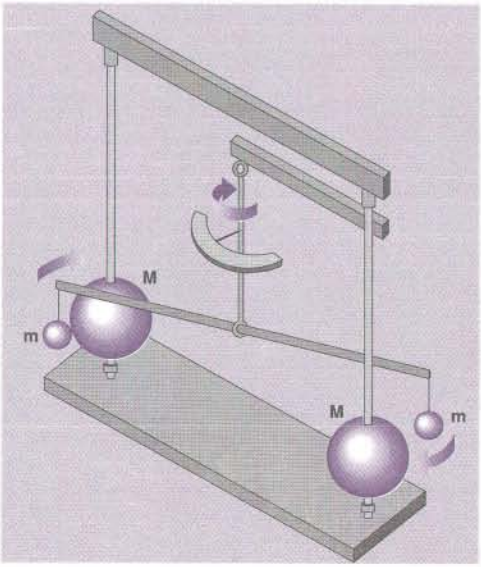
Ons universum bestaat uit atomaire deeltjes. Vier soorten wisselwerkingen houden die deeltjes bij elkaar. Met twee van die interacties, de zwaartekracht en de elektromagnetische kracht, kunnen we de dagelijkse wereld om ons heen beschrijven. We stellen ons deze krachten voor met behulp van krachtvelden.

ZWAARTEKRACHT EN ELEKTROMAGNETISME

Christine Sutton

Eén van de opmerkelijkste ontdekkingen van de afgelopen eeuw, is dat de enorme verscheidenheid van ons universum is opgebouwd uit slechts een handvol essentiële bouwstenen: de subatomaire deeltjes. Minder bekend, maar even opmerkelijk, is de ontdekking dat deze deeltjes op een beperkt aantal manieren wisselwerken. Natuurkundigen spreken van **fundamentele krachten** die deel uitmaken van deze wisselwerkingen en die aan het universum de vorm geven die we waarnemen.

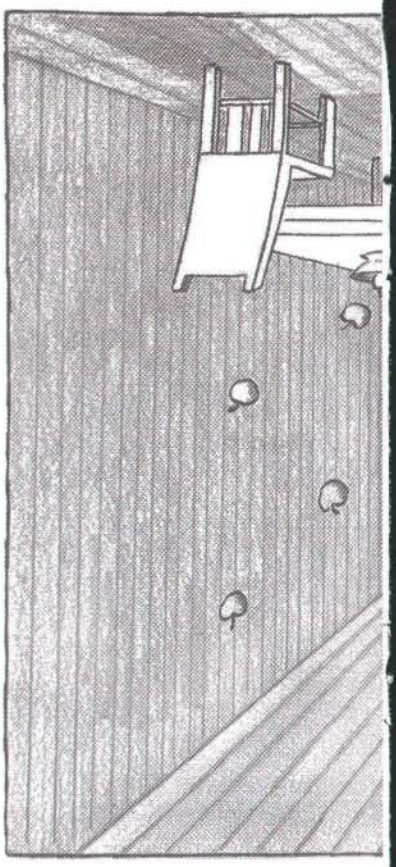
Het gebruik van de term **kracht** kan in dit geval verwarrend zijn. We ervaren krachten vaak in meer beperkte, mechanische zin, bijvoorbeeld als de kracht die nodig is om een deur te openen. Tegenwoordig weten natuurkundigen echter dat al deze bekende krachten het gevolg zijn van de onderliggende fundamentele krachten.



Galileo Galileï zag in dat de verandering in een beweging een kracht vereist. Henry Cavendish voerde het beroemde torsiebalans-experiment uit, dat de gravitatieconstante G bepaalde en Newtons omgekeerde-kwadraatwet van de zwaartekracht demonstreerde. Grote loden bollen nabij kleinere veroorzaakten een hoekbeweging.

In de mechanica is een kracht iets dat de bewegingstoestand van een lichaam kan veranderen. We zien dat bijvoorbeeld als een golfclub een stilliggende bal raakt. Krachten kunnen ook een lichaam in een bepaalde positie houden, bijvoorbeeld als iemand een tentstok op zijn plaats houdt. De Griekse filosoof Aristoteles, die leefde in de vierde eeuw voor Christus, geloofde dat beweging continu een kracht vereist. Met andere woorden, na de slag met de club moet één of andere kracht op de golfbal blijven werken om hem in bewe-

ging te houden. Pas bijna tweeduizend jaar later besefte de Italiaanse geleerde Galileo Galilei dat het niet de beweging is die een kracht vereist, maar de verandering in die beweging.
Galileo realiseerde zich, dat een eenmaal geslagen golfbal in een rechte lijn en met constante snelheid beweegt zolang er geen kracht op de bal werkt. Dit is natuurlijk niet wat we in werkelijkheid zien gebeuren. De luchtweerstand remt de bal af en de wind kan zijn bewegingsrichting veranderen. Bovendien zorgt de zwaartekracht ervoor dat de bal, die eerst schuin omhoog bewoog, in een boog terugvalt naar de grond.
Galileo's werk werd kort daarna onderbouwd door de Engelse natuur- en wiskundige Isaac Newton. In zijn beroemde boek *Principia Mathematica,* gepubliceerd in 1687, beschreef Newton zijn drie bekende bewegingswetten. Nog altijd vertellen deze wetten ons alles wat we hoeven te weten over mechanische krachten.
Newtons bijdrage aan de mechanica was dermate groot, dat de SI-eenheid voor kracht zijn naam heeft gekregen: de newton. Eén newton is gedefinieerd als de kracht die nodig is om een lichaam met een massa van één kilogram een versnelling te geven van één meter per seconde per seconde. Dit komt ongeveer overeen met de kracht die op aarde nodig is om een kleine appel op te tillen.
Op succesvolle wijze kon Newton met behulp van zijn drie wetten de **zwaartekracht** beschrijven. Hij besefte dat de zwaartekracht niet alleen een aardse eigenschap is – die volgens het sprookje een appel op Newtons hoofd liet vallen – maar ook een eigenschap van alle andere lichamen met een massa. Met andere woorden, dezelfde kracht die ervoor zorgt dat appels naar de grond vallen, houdt ook de maan in zijn baan rond de aarde. De zwaartekracht houdt zelfs complete sterrenstelsels bij elkaar.



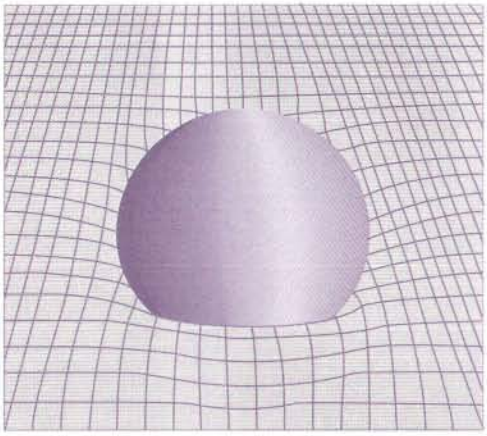
Aantrekkelijk

De omgekeerde-kwadraatwet

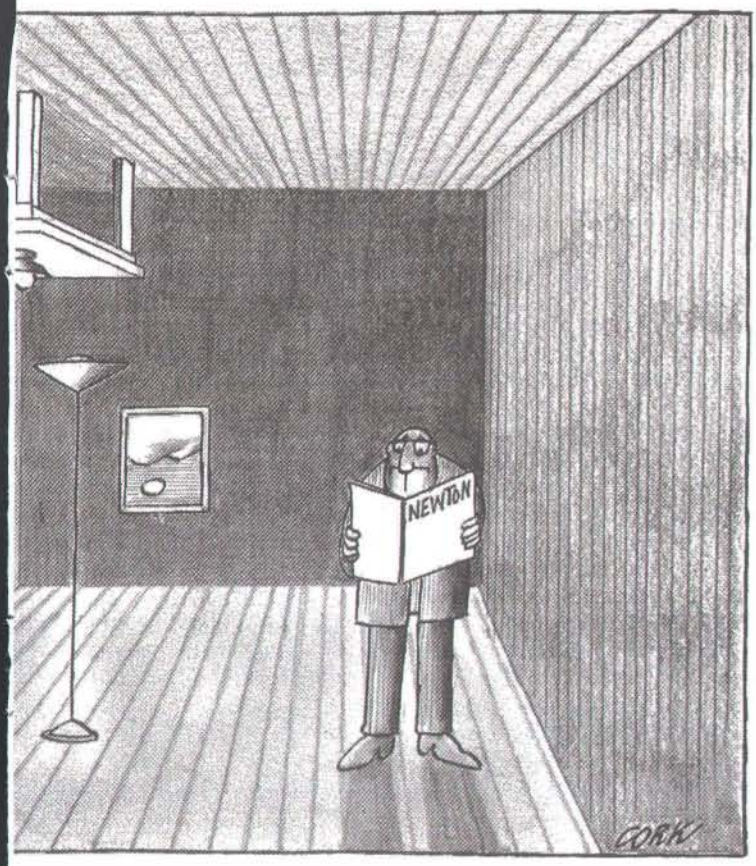
Volgens Newtons zwaartekrachtwet is de aantrekkingskracht F tussen twee lichamen evenredig met het produkt van hun twee massa's, m_1 en m_2, gedeeld door het kwadraat van hun onderlinge afstand r:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

De wezenlijke sterkte van de zwaartekracht is echter voor alle massa's en afstanden hetzelfde. Deze wordt gegeven door de evenredigheidsconstante in de wet, de gravitatieconstante, die we aangeven met G.
Voor zover natuurkundigen weten, is G een universele constante. Dat wil zeggen dat de constante overal in het heelal dezelfde waarde heeft. Wel



Het zwaartekrachtveld rond een groot lichaam zoals de zon kan zelfs lichtstralen, ofwel een stroom fotonen, een klein beetje doen afbuigen.



blijkt uit sommige onderzoeken dat deze waarde in de loop van de geschiedenis van het heelal wellicht is veranderd. De huidige waarde van G is $6{,}672 \cdot 10^{-11}$ kubieke meter per kilogram per seconde per seconde ($m^3\ kg^{-1}\ s^{-2}$).

De zwaartekracht is de zwakste fundamentele kracht en komt voort uit het bestaan van massa. Natuurkundigen zeggen dat massa de bron is van de zwaartekracht. Anders gezegd: massa is de bron van een krachtveld dat de sterkte en richting van de zwaartekracht afbeeldt in alle punten van de ruimte (en de tijd).

Het idee van een krachtveld werd in de negentiende eeuw geformuleerd tijdens onderzoek naar krachten die optreden bij elektriciteit en magnetisme. Als je bijvoorbeeld probeert om de noord- of zuidpolen van twee magneten naar elkaar toe te brengen, blijkt dat dit moeite kost. Dit komt doordat er tussen de twee gelijke polen een afstotende magnetische kracht werkt. En als je een ballon langs je trui strijkt en die vervolgens tegen het plafond houdt, dan blijft de ballon hangen door een aantrekkende elektrische kracht.

In 1785 werkte de Franse natuurkundige Charles Coulomb in detail uit hoe de kracht tussen twee elektrisch geladen lichamen gehoorzaamt aan een wet die vergelijkbaar is met Newtons zwaartekrachtwet. Beide krachten volgen een **omgekeerde-kwadraatwet.** Met andere woorden, de grootte van de kracht is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tussen twee lichamen. Voor elektrisch geladen lichamen is de grootte van de kracht F evenredig met het produkt van de grootte van de twee ladingen, q_1 en q_2, gedeeld door r^2, het kwadraat van hun onderlinge afstand:

$$F = \frac{q_1 q_2}{E r^2}$$

Dit is de wet van Coulomb. De evenredigheidsconstante E is een eigenschap van de ruimte die zich bevindt tussen de ladingen.

Er is een subtiel verschil tussen de zwaartekracht en de elektrische kracht. Er is maar één type massa. Elektrische lading, de bron van de elektrische kracht, komt echter voor in twee vormen, die we kennen als positief en negatief. De zwaartekracht is dan ook altijd aantrekkend en trekt massa's naar elkaar toe. De elektrische kracht kan daarentegen echter zowel aantrekkend als afstotend zijn. In het laatste geval duwt hij geladen lichamen uiteen. Ladingen van hetzelfde type (beide positief of beide negatief) stoten elkaar af, ladingen van verschillend type trekken elkaar aan.

Een wet die lijkt op de wet van Coulomb, beschrijft de kracht die heerst tussen magnetische ladingen, de noord- en zuidpolen. Deze magnetische kracht volgt eveneens een omgekeerde kwadraatwet en kan zowel aantrekkend als afstotend zijn. Gelijke polen stoten elkaar af, ongelijke polen trekken elkaar aan.

Krachtlijnen

Elektromagnetische velden

Als geen ander heeft de Engelse geleerde Michael Faraday bijgedragen aan ons begrip van elektrische en magnetische krachten. Hij kwam op het idee om **krachtlijnen** te gebruiken.

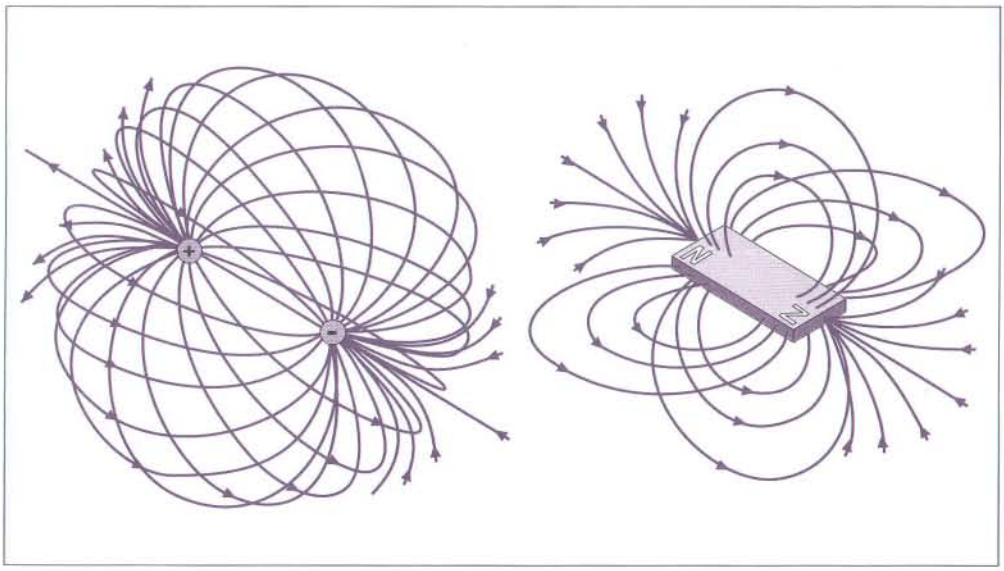
Stel je een lichaam voor met een positieve of negatieve elektrische lading, dat zich midden in een kamer bevindt. Stel je verder voor dat je een ander lichaam hebt met één eenheid lading van hetzelfde type en dat je met dat lichaam de kracht tussen de twee kunt meten in ieder punt van de kamer. De richting van de kracht zal altijd gelijk zijn aan de richting van de verbindingslijn tussen de twee lichamen. Zo kun je de richting van de kracht afbeelden als lijnen vanuit de centrale lading, ongeveer zoals de stekels van een zeeëgel alle kanten uitsteken.

Faraday's krachtlijnen zijn een waardevol hulpmiddel als we ons een voorstelling van krachten willen maken. Ze tonen het krachtveld dat een lichaam veroorzaakt of dat zich tussen meer lichamen bevindt. We zijn dan ook gewend om ons elektrische en vooral magnetische velden op deze manier voor te stellen. Een veld rond een magneet wordt nog werkelijker als we ijzervijlsel gebruiken. De ijzerkorreltjes richten zich onder invloed van de magnetische krachten en vormen patronen die de richting van de krachtlijnen volgen.

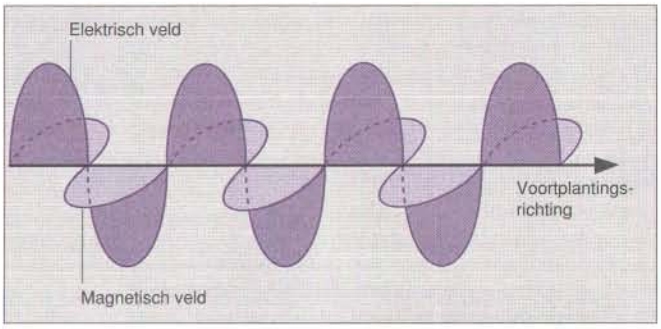
Natuurkundigen kunnen ook een wiskundige voorstelling van deze velden maken. De wet van Coulomb geeft bijvoorbeeld de kracht die een eenheidslading ondervindt in elk punt van de ruimte rondom een geladen lichaam. Op deze manier maakt de wet het mogelijk om het veld te berekenen. De vergelijking die de basis vormt van deze berekening in alle punten van ruimte en tijd, is een belangrijke typering van de kracht. Het vinden van deze basale **veldvergelijking** (of verzameling vergelijkingen) is cruciaal voor het begrip van de fundamentele krachten.

De wetten die een beschrijving geven van de afzonderlijke elektrische en magnetische krachten die worden veroorzaakt door stationaire – of **statische** – elektrische en magnetische ladingen, zijn echter niet fundamenteel. Ze vormen een onderdeel van een groter geheel. Elektrische en magnetische krachten zijn namelijk onlosmakelijk met elkaar verbonden. Wanneer elektrische ladingen bijvoorbeeld bewegen, en er dus sprake is van elektri-

Krachtlijnen beelden elektrische velden (tussen ladingen) en magnetische velden (tussen polen) af. De lijnen zijn hier in driedimensionale vorm weergegeven, zodat hun verdeling in de ruimte is te zien. Merk op dat de lijnen zich weliswaar uitstrekken in de ruimte, maar dat hun bereik in praktijk beperkt is.



sche stroom, treden er magnetische effecten op, terwijl bewegende magneten elektrische stromen kunnen opwekken.
Alle experimentele wetten voor elektriciteit en magnetisme, waaronder de wet van Coulomb, zijn verenigd in één theorie voor elektromagnetisme. De Schotse natuurkundige James Clerk Maxwell verrichtte deze grote synthese in het midden van de negentiende eeuw. Maxwells uitwerking van de verschillende elektrische en magnetische verschijnselen leidde tot vier basisvergelijkingen die het gedrag van een elektromagnetisch veld beschrijven.
Een onverwachte bijkomstigheid van Maxwells werk was dat zijn theorie ook licht kon beschrijven. Zichtbaar licht is een elektromagnetische golf waarvan de frequentie zich tussen bepaalde grenzen bevindt. Soortgelijke golven op hogere frequenties vormen de straling die we kennen als röntgen- en gammastraling. Op lagere frequenties vinden we de microen radiogolven.
Maxwells vergelijkingen beschrijven het veld van de **elektromagnetische kracht**. Dit is, net zoals de zwaartekracht, een fundamentele kracht. Het is de kracht die atomen bijeenhoudt en daarom verantwoordelijk is voor vele natuurkundige eigenschappen van stoffen, zoals smelt- en kookpunt, samendrukbaarheid en elasticiteit. De kracht is ook verantwoordelijk voor de chemische reacties waardoor atomen zich op vele manieren aan elkaar kunnen binden en er een enorme verscheidenheid aan molekulen kan bestaan. Hieruit volgt dat de elektromagnetische kracht ook ten grondslag ligt aan de complexe biochemie die tot het leven zelf leidt. Het begrip van de elektromagnetische kracht is dus niet alleen fundamenteel voor de natuurkunde, maar ook voor de scheikunde en de biologie. Maar hoe houdt de elektromagnetische kracht nu eigenlijk materie bij elkaar?
Een typisch atoom bestaat uit negatief geladen elektronen die bewegen rond een minuscule, centrale, positief geladen kern. De aantrekking tussen de elektrisch tegengestelde ladingen houdt de elektronen gewoonlijk gebonden aan de kern. De totale negatieve lading van de elektronen is exact in evenwicht met de positieve lading van de kern, zodat het atoom globaal gezien elektrisch neutraal is.
Elektrische krachten zijn tevens verantwoordelijk voor de binding tussen atomen, ondanks het feit dat individuele atomen geen lading hebben. Deze binding hangt af van een **interatomaire kracht** die zowel aantrekkende als afstotende componenten heeft. De kracht moet afstotend zijn op korte afstanden, anders zou alle materie zich verdichten tot een zeer dichte, vaste toestand. Op grotere afstanden moet de kracht aantrekkend zijn, zodat atomen zich kunnen binden in vaste stoffen en vloeistoffen. Het bereik van de aantrekkende component mag echter weer niet te groot zijn, anders zouden atomen zich niet van elkaar los kunnen maken en zouden stoffen niet als gassen kunnen voorkomen.
Het evenwicht tussen de afstotende en aantrekkende componenten van de interatomaire kracht varieert van de ene stof tot de andere. Veel stoffen op aarde zijn bij kamertemperatuur vast, maar andere zijn zelfs bij relatief lage temperatuur nog gasvormig.
Atomen kunnen zich op verschillende manieren aan elkaar binden, maar in alle gevallen is de betrokken kracht in wezen elektrisch en dus een gevolg van de fundamentele elektromagnetische kracht. In **ionogene verbindingen** bijvoorbeeld, lenen atomen van één element elektronen van atomen van een ander element. Beide atoomtypen verkrijgen daardoor een meer gunstige elektronenverdeling. Atomen van het ene element



Maxwells theorie voor elektromagnetisme onthulde dat licht bestaat uit elektrische en magnetische velden. Deze velden trillen in fase en wel in richtingen die loodrecht op elkaar staan. De precieze golflengte (afstand tussen pieken) kan alle waarden aannemen die voorkomen in een compleet spectrum.

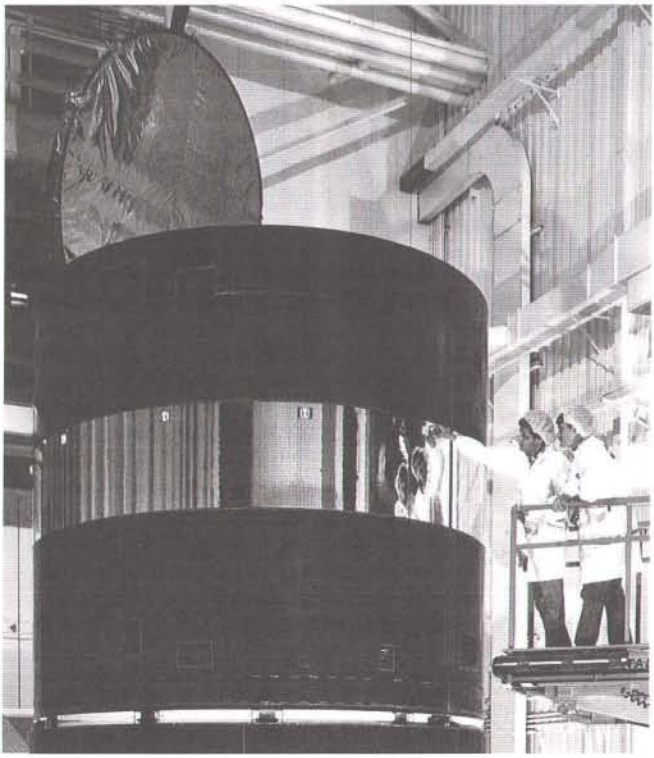
komen dan voor als positieve ionen (te weinig elektronen) en atomen van het andere element als negatieve ionen (te veel elektronen). Het resultaat is dat de ionen met tegengestelde ladingen elkaar elektrisch aantrekken en zo de stof een sterke binding geven. Ionogene verbindingen, zoals natriumchloride (keukenzout), hebben dan ook hoge kook- en smeltpunten en zijn allemaal vast bij kamertemperatuur. Dit is een direct gevolg van het type elektrische binding dat in deze stoffen optreedt.
De krachten tussen atomen en molekulen zijn op grotere schaal verantwoordelijk voor bekende krachten zoals **wrijving**. Zelfs het gladste oppervlak is op atomaire schaal oneffen. Als twee oppervlakken langs elkaar bewegen, zijn er kleine gebiedjes die elkaar het eerste raken. In deze punten ontstaat een zeer grote druk en de krachten tussen de atomen in de twee oppervlakken zorgen voor de wrijving.

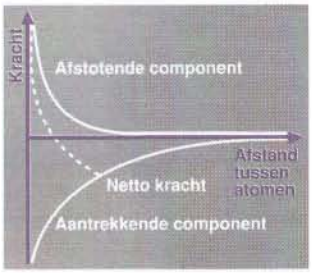
Lichtquanta

Subatomaire krachten

Maxwells wetten voor elektromagnetisme zijn zeer waardevol als we allerlei processen in de fysische wereld willen beschrijven. Ze zijn echter onvoldoende geschikt om de reacties tussen atomen en molekulen tot in detail te verklaren, laat staan de structuur van een atoom en de manier waarop dat licht absorbeert en uitzendt.

Om op het subatomaire niveau te voldoen, moet een theorie voor geladen deeltjes twee specifieke benaderingen verenigen. Ten eerste bewegen de elektronen in atomen met hoge snelheden, dicht bij de lichtsnelheid. Dit betekent dat Einsteins speciale relativiteitstheorie van toepassing is. Ten tweede is de mechanica van Newton en Galileo hier niet bruikbaar, omdat deze verschijnselen op grotere schaal beschrijft. Het atoom is dan ook het domein van de **quantummechanica**, die in de jaren twintig werd ontwikkeld door mensen als Niels Bohr, Werner Heisenberg en Erwin Schrödinger.
Kort gezegd, werkt de quantumtheorie met atomen waarin de energieën van de elektronen **gequantiseerd** zijn. Dit





Aantrekking tussen atomen houdt materie bijeen. Afstoting voorkomt dat materie zich verdicht tot een zeer dichte toestand.

De zwaartekracht houdt een satelliet in zijn baan om de aarde. Zonnecellen verzorgen de elektriciteitsvoorziening. (Foto: Hughes Aircraft Company).

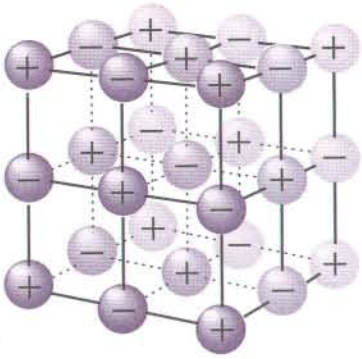
betekent dat de elektronen slechts bepaalde hoeveelheden energie kunnen hebben. Deze beperkingen leiden tot een gedetailleerd begrip van de atomaire structuur en de verwantschappen tussen de

VIER FUNDAMENTELE KRACHTEN

INTERMEZZO

Er zijn vier krachten die samen het gedrag van alles in het heelal bepalen. De **zwaartekracht** is de zwakste kracht. Doordat hij een onbegrensd bereik heeft, voelt elk deeltje in het heelal zijn invloed. De **elektromagnetische kracht** is sterker dan de zwaartekracht en heeft eveneens een onbegrensd bereik.
In de praktijk is het bereik van elektromagnetische krachten echter beperkt. Magnetische noord- en zuidpolen komen immers altijd in paren voor en er lijkt op grote schaal een nauwkeurig evenwicht te zijn tussen het aantal positief geladen deeltjes en het aantal negatief geladen deeltjes.
Elektromagnetisme houdt atomen en molekulen bij elkaar. Op deze atomaire schaal kunnen we de invloed van de zwaartekracht verwaarlozen, omdat hij zo zwak is. Zijn invloed neemt echter toe met elk atoom dat aan een lichaam wordt toegevoegd en hij wordt belangrijk wanneer een lichaam genoeg atomen bevat om zichtbaar te zijn.
Twee andere krachten bepalen het gedrag van deeltjes op subatomaire schaal. Beide krachten hebben een korte dracht en hebben geen invloed op afstanden die groter zijn dan de doorsnede van een atoomkern, hoewel ze op kleine schaal de zwaartekracht en het elektromagnetisme in sterkte overtreffen. Omdat één van beide krachten duidelijk sterker is dan de andere, worden ze door natuurkundigen **sterke** en **zwakke kernkracht** genoemd.
Natuurkundigen verwijzen een enkele keer naar een 'vijfde kracht'. Uit sommige experimenten zou blijken dat deze kracht de invloed van de zwaartekracht enigszins afzwakt over afstanden van enkele meters. Als de kracht bestaat, dan is het in feite een aanpassing van de omgekeerde-kwadraatwet van de zwaartekracht en geen op zichzelf staande kracht.

elementen, die de basis vormen van het **periodiek systeem der elementen**.
Een volledige theorie voor willekeurig welke fundamentele kracht dan ook, moet speciale relativiteit en quantummechanica in zich verenigen om universeel geldig te zijn. Voor de elektromagnetische kracht is dit een theorie die bekendstaat onder de naam quantumelektrodynamica. Na vervolmaking van de theorie in de jaren veertig, is deze met grote nauwkeurigheid experimenteel gewogen en geschikt bevonden.
Quantumelektrodynamica, of **QED**, is een voorbeeld van een quantumveldtheorie. In QED is elektrische lading nog steeds de bron van het elektromagnetische veld, net zoals in de theorie van Maxwell. Het verschil is, dat het veld in QED een korrelige structuur heeft: het is gequantiseerd. Als we een geladen deeltje, bijvoorbeeld het elektron, van dichtbij konden bekijken, dan zouden we zien dat het veld daaromheen wordt veroorzaakt door minuscule deeltjes die erin en eruit bewegen, zoals bijen rond een korf. Op grotere afstand van de lading is het veld zwakker omdat de deeltjes daar meer zijn verspreid.
Wat zijn die elektromagnetische velddeeltjes? Het antwoord is dat het **fotonen** zijn, de lichtdeeltjes of -quanta. Al in 1900 toonde Max Planck aan dat door stoffen uitgezonden of geabsorbeerde elektromagnetische straling, zoals zichtbaar licht, in feite bestaat uit een stroom van discrete energiepakketjes, ofwel fotonen. De quantumtheorie beschrijft elektromagnetische golven als fotonen, waarbij de energie van elk foton evenredig is met de frequentie van de straling.
Op dezelfde manier zijn fotonen ook de dragers van het elektromagnetisch veld. Deze fotonen hebben echter een kort bestaan omdat ze in en uit de elektrische lading schieten. Natuurkundigen noemen deze elektromagnetische velddeeltjes **virtuele fotonen**, omdat ze niet onafhankelijk bestaan zoals de fotonen van de elektromagnetische straling.
De QED-theorie behandelt de wisselwerkingen tussen alle elektrisch geladen deeltjes als een uitwisseling van virtuele fotonen. Twee protonen stoten elkaar af als het ene proton een virtueel foton uitzendt en het andere dat absorbeert. Op deze wijze reageren alle geladen deeltjes op het elektromagnetisch veld van een ander.
De sterkte van deze fundamentele reactie, met andere woorden de intrinsieke grootte van de elektromagnetische kracht, wordt gegeven door een constante die bekendstaat als de **fijnstructuurconstante**,



In ionogene verbindingen, zoals keukenzout, lenen atomen elektronen van hun buren om betere elektronenconfiguraties te krijgen; de ionen die zo ontstaan hebben tegengestelde ladingen en trekken elkaar aan, waardoor een sterke verbinding ontstaat.

weergegeven met het symbool α. Deze constante dankt zijn naam aan een nauwkeurig beschreven verschijnsel in atomaire spectra. Het is een zuiver getal, zonder eenheden, met een waarde van $\frac{1}{137036}$. Een vergelijkbaar zuiver getal dat is gekoppeld aan de zwaartekracht tussen twee protonen, heeft een waarde van ongeveer $5 \cdot 10^{-39}$. Hieruit volgt dat de zwaartekracht veel en veel zwakker is dan de elektromagnetische kracht.

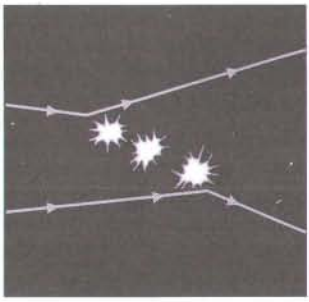
Unificatie

Problemen met de zwaartekracht

Heeft de zwaartekracht ook dragerdeeltjes, die verwant zijn aan fotonen? Natuurkundigen nemen inderdaad aan dat zulke deeltjes bestaan en noemen ze **gravitonen**. Maar tot nu toe hebben theoretici nog geen quantumveldtheorie voor de zwaartekracht, die vergelijkbaar is met QED, kunnen opstellen.

Er bestaat al een belangrijke theorie voor de zwaartekracht, namelijk Albert Einsteins **algemene relativiteitstheorie**, een uitbreiding van de speciale relativiteitstheorie, die tevens versnellende massa's kan beschrijven. Deze theorie is geen vervanging van Newtons zwaartekrachttheorie, maar integreert hem in een nette veldtheorie die op één lijn staat met Maxwells theorie voor elektromagnetisme. De problemen ontstaan wanneer natuurkundigen proberen om de quantummechanica te verenigen met de veldtheorie van algemene relativiteit. Berekeningen kloppen dan niet meer en geven oneindige, onzinnige resultaten. Theoretici geloven dat de oplossing niet ligt in het quantiseren van de zwaartekracht op zich, maar in de ontwikkeling van een quantumveldtheorie die de zwaartekracht en elektromagnetisme samen met de andere fundamentele krachten verenigt.

We hebben gezien dat natuurkundigen veel van de wereld om ons heen kunnen beschrijven met slechts twee fundamentele krachten, de zwaartekracht en de elektromagnetische kracht. Maar deze beschrijving is nog niet compleet. Quantumelektrodynamica kan geen verklaring geven voor alle gedrag van materie op subatomaire schaal. Daarom proberen natuurkundigen de quantumelektrodynamica en de zwaartekracht te verenigen met de beschrijving van twee andere fundamentele krachten, die binnen in het atoom werken, om zo te komen tot een **unificatietheorie**.



Een deeltje, bijvoorbeeld een foton, 'transporteert' kracht van het ene voorwerp naar het andere; het resultaat is een afstotende kracht, waardoor de voorwerpen zich van elkaar af bewegen.

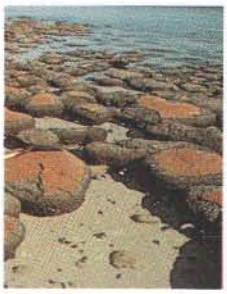
Dit artikel is voor Natuur & Techniek vertaald door drs A. Slootmaker van de Open Universiteit in Heerlen.

Literatuur

Bais FA, Muller FA. Supersnaren. Natuur & Techniek 1991; 59: 9, 672-695.
Gribbin J. De quantumwereld. Natuur & Techniek 1991; 59: 3, Kijk op Wetenschap.

KIJK OP WETENSCHAP verschijnt zes maal per jaar, onder redactie van Natuur & Techniek, in samenwerking met New Scientist.
Voor het maken van kopieën is toestemming vereist van de Stichting Reprorecht (Postbus 882, 1180 AW Amstelveen, Tel. 0(0-31)20-5407496).

VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK



Babyzicht

Dr A.W. Smitsman en drs M.M. Sitskoorn

Tot voor kort vermeldden sommige boeken nog dat een baby de eerste weken praktisch blind is. Er zijn echter nieuwe onderzoeksmethoden ontwikkeld voor het bestuderen van het waarnemingsvermogen. Daardoor is een ander beeld ontstaan van wat een baby ziet.

Oerleven

Prof dr C. de Duve

Eeuwenlang was er maar één verklaring voor het ontstaan van het leven: het ontstaat spontaan. Inmiddels weten we dat dat niet kan, maar hoe is het leven dan begonnen? Wanneer, waar en waarom? Deze vragen omlijsten een van onze grootste mysteries.

KIJK OP WETENSCHAP

Katalysatoren

De chemische industrie heeft katalysatoren nodig bij de vervaardiging van haar produkten. Zonder deze magische reactieversnellers zou de scheikunde het al ras voor gezien houden. Zonder hun biologische tegenhangers zou ook het leven knarsend tot stilstand komen.

Atmosferen

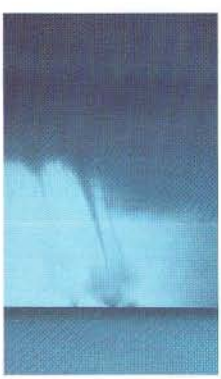
Prof dr J.W. Hovenier

Als Venus zich tussen de Aarde en de Zon bevindt, verschijnt het silhouet van deze planeet als een donkere ronde vlek op de Zon. Soms zien we rond die donkere vlek een lichtende krans. Toen M.V. Lomonosov dit in 1761 zag, begreep hij als eerste dat de Aarde niet de enige planeet is met een atmosfeer.

Vogelnavigatie

Dr J.F.W. Nuboer

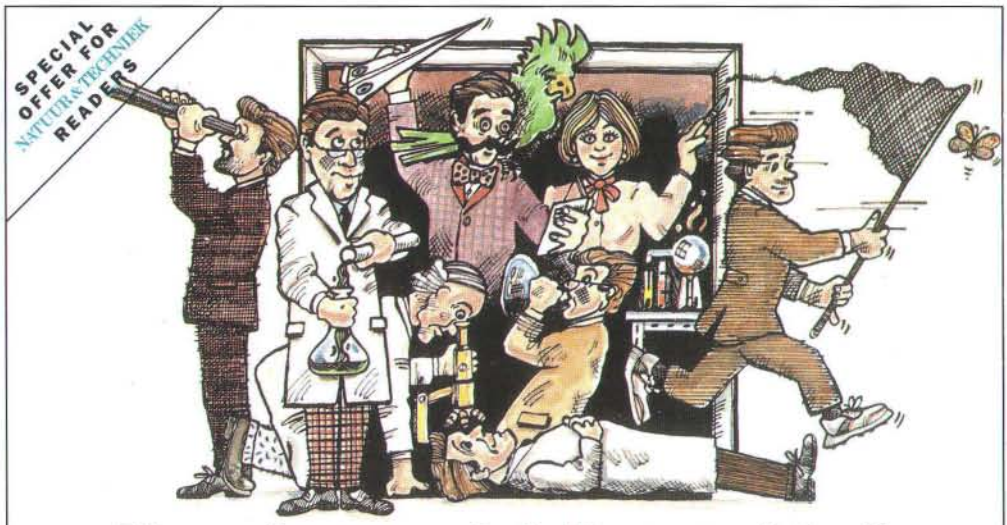
Vogels leggen vaak enorme afstanden af. Zij hebben een goed navigatievermogen dat er voor zorgt dat ze hun broed- en overwinteringsgebieden kunnen bereiken. Dit vermogen blijkt aangeboren. Zo volgt een koekoeksjong, dat uiteraard niet door soortgenoten is opgevoed, al in zijn eerste najaar een vaste route naar zijn Afrikaanse winterverblijf.



Lage luchtdruk

Drs B. Zwart

De luchtdruk aan het aardoppervlak varieert, van tijd tot tijd en van plaats tot plaats. In een tropische cycloon bereikt die luchtdruk soms zeer lage waarden. Zo laag, dat we ons kunnen afvragen of er een ondergrens is aan de luchtdruk die kan ontstaan aan het aardoppervlak.



How do you get the world of science and technology inside your living room every week?

Imagine what you'd learn if the most eminent minds in science and technology paid you a visit every week.

You might overhear how dolphins are making waves in zoology, for instance. How they actually listen with their jaws - and stun their prey with sound.

Or perhaps you'd catch on to some biting news in the world of entomology. Like how ants know when it's time for dinner.

Failing that, you could benefit from some handy tips on how butterflies are helping the fight against crime. (The Peruvian government plans to release swarms of coca-eating butterflies - with the aim of destroying the illegal traffic in cocaine).

And if you're lucky, you might be spellbound by the latest theory that suggests the snowbound yeti is more of a peace-loving vegetarian than an abominable snowman.

Of course, all these fascinating facts, as well as the more serious side of science and technology, are yours for the asking by subscribing to New Scientist.

Have New Scientist delivered every week and your mind will be in the best company.

With articles from the pens of the world's top scientists.

In order to provide the best service to our readers, Natuur & Techniek and New Scientist are cooperating on a number of editorial projects.

Natuur & Techniek is therefore pleased to offer a subscription to New Scientist at the special introductory rate of just £58.00 - a saving of £32.00 (over 35%) on the normal subscription rate of £90. This rate is only available to readers of Natuur & Techniek. Please use the special card in this issue and send this directly to New Scientist at the address shown.

subscribe to newscientist
and save up to 35% on a subscription